

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL**

**MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM PLANTIOS DE
Pinus taeda e *P. elliottii* EM DUAS REGIÕES DO
RIO GRANDE DO SUL**

TESE DE DOUTORADO

Eleandro José Brun

Santa Maria, RS, Brasil.

2008

**MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM PLANTIOS DE
Pinus taeda e *P. elliottii* EM DUAS REGIÕES DO
RIO GRANDE DO SUL**

por

Eleandro José Brun

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Florestal.**

Orientador: Prof. Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM PLANTIOS DE *Pinus taeda* e *P.
elliottii* EM DUAS REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por

Eleandro José Brun

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Mauro Valdir Schumacher, Dr.
Orientador Presidente

Flávio Luiz Foletto Eltz, Dr.

Paulo César Conceição, Dr.

Ana Paula Moreira Rovedder, Dra.

Luciano Farinha Watzlawick, Dr.

Santa Maria, 28 de julho de 2008.

AGRADECIMENTOS

Ao PPGEF e à UFSM, aos colegas, professores e funcionários que de uma forma ou outra, contribuíram para a execução deste trabalho.

À CAPES, pela bolsa concedida, muito importante para a manutenção durante o curso e o trabalho de tese, tanto no Brasil como na Alemanha.

Ao orientador na UFSM-PPGEF, Prof. Dr. Mauro Valdir Schumacher e ao Prof. Dr. Peter Trüby, orientador no Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre-UniFreiburg, pelos ensinamentos, auxílio e disponibilidade, não medindo esforços para que o trabalho fosse realizado da melhor maneira. Aos co-orientadores, Prof. Dr. Solon Jonas Longhi e Prof. Dr. Dalvan Reinert, pelas várias vezes que me auxiliaram, tanto técnico-cientificamente como na amizade. Também ao Prof. Dr. Telmo J.C. Amado que, muitas vezes, auxiliou-me nas indicações metodológicas e interpretação dos resultados.

Às empresas Todesflor e Cambará S.A., por permitirem a realização da coleta de dados em suas áreas florestais, bem como pelo apoio logístico na ocasião.

Aos acadêmicos de Graduação em Engenharia Florestal – Evandro Alcir Meyer, Lucas Zancan Pissinin, Eduardo Kneipp Londero, Márcio Carlos Navroski, que muito colaboraram para este trabalho, na coleta e processamento das amostras.

À colega e amiga Francine Calil que, apesar de ter passado por difíceis momentos, nunca mediu esforços em me ajudar, tanto no período de estudos em Freiburg-Alemanha, como no Brasil.

Às laboratoristas do Instituto de Ciência do Solo e Nutrição Florestal da Albert-Ludwigs-Universität Freiburg-Alemanha, Petra Grossmann, Angela Thiemann, Petra Wiedemer, Elfriede Reiprich, Christina Petschke, pela orientação no laboratório e amizade.

Aos meus pais Luiz Antonio e Glaci Maria, aos meus irmãos e irmãs e suas famílias, enfim, a todos que sempre me incentivaram em meus estudos.

À Flávia, minha esposa e à família dela (minha também), grande fonte de incentivo, constante ajuda e apoio, amor e dedicação, que sempre seguraram todos os problemas no Brasil, para que eu pudesse me dedicar integralmente à tese, na Alemanha.

Muito Obrigado.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM PLANTIOS DE *Pinus taeda* e *P. elliottii* EM DUAS REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL

Autor: Eleandro José Brun
Orientador: Prof. Dr. nat techn Mauro Valdir Schumacher
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de julho de 2008.

O monitoramento da qualidade do solo em florestas plantadas, através do uso de indicadores eficientes, é importante para a não degradação do mesmo nas práticas de manejo e para a avaliação dos possíveis acréscimos/decréscimos na quantidade de carbono armazenado. Objetivou-se avaliar as variações no teor e estoque de carbono e nitrogênio nas frações total (COT e NT), particulada (COP e NP) e associada aos minerais (COAM e NAM), em quatro povoamentos de *Pinus taeda* L., nos Campos de Cima da Serra-RS (CCS) e quatro de *Pinus elliottii* Engelm., na Depressão Central-RS (DC) sob condições diferenciadas de solo e manejo florestal. Avaliou-se como testemunhas um campo natural queimado anualmente (CNQA) e uma Floresta Ombrófila Mista (FOM) nos CCS; campo natural roçado e não queimado (CN) e uma Floresta Estacional Decidual (FED) na DC. Em cada uma dessas áreas, doze amostras de serapilheira e doze de solo (subamostras: 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm) foram coletadas. Em laboratório, foram realizados o fracionamento físico e a análise do solo, em relação ao carbono e nitrogênio nas diferentes frações obtidas, pH e densidade do solo, bem como do teor de C e N na serapilheira. Nos CCS, as áreas com *Pinus taeda* alcançaram os maiores valores de serapilheira acumulada, proporcional ao tempo de uso da área com plantio e também ao manejo adotado para os resíduos. O acúmulo de carbono na serapilheira foi influenciado pela biomassa da mesma, com teores pouco diferindo entre as áreas com *Pinus taeda* e FOM, sendo menores no CNQA. Os teores de N foram superiores na FOM e nas áreas de *Pinus taeda* com vegetação original de FOM, em relação ao CNQA e *Pinus taeda* em área originalmente CNQA. O acúmulo de carbono no solo mostrou, para a fração total, predomínio em áreas onde a biomassa

de resíduos foi queimada e retirada, na FOM e CNQA, respectivamente. O CNQA, por sua vez, apresentou os maiores estoques de COP, juntamente com a área de queima de biomassa em área original de FOM. O COAM esteve armazenado em maior quantidade nas mesmas áreas de predomínio do COT. O acúmulo de carbono esteve associado ao C-carvão proveniente das queimas e às adições da serapilheira, resíduos de colheita e à renovação de raízes. A variação dos teores de nitrogênio foi muito semelhante à do carbono, em profundidade e entre os tratamentos, ocorrendo apenas uma situação de consumo de N da fração mineral no *Pinus taeda*. Os plantios de *Pinus taeda* em área original de FOM são predominantes no acúmulo de N, assim como a própria FOM testemunha. Em função da sua origem e constituição, o COP apresenta maiores relações C/N. Nos tratamentos estudados na DC, o acúmulo de serapilheira foi maior nas áreas com *Pinus elliottii*, mas não proporcional à idade dos plantios, em função de diferenças de qualidade de sítio. Esse aspecto também influenciou o baixo teor de carbono na área de 24 anos, mesmo com maior acúmulo de serapilheira e teor médio de N. O potencial de acúmulo de carbono sobre o solo é maior nas áreas com plantios florestais em relação às testemunhas. Os valores de pH são maiores na camada superficial do solo, para todos os tratamentos. As áreas com cultivo de *Pinus elliottii* têm pH levemente menores que as testemunhas. No solo das áreas na DC, os maiores teores de carbono, em ambas as frações, ocorreram na FED e nos plantios de *Pinus elliottii*, tendo o solo do CN apresentado os menores teores. Ao nível de estoques, o CN apresentou-se em condições semelhantes aos demais tratamentos (COT), mas foi inferior no acúmulo de COP. Os teores de N em ambas as frações foram superiores no solo da FED, ficando os plantios de *Pinus elliottii* e CN com teores intermediários. O CN e a FED estocaram mais NT, sendo a área de 24 anos a menor estocadora. A relação C/N apresentou valores maiores na fração particulada, principalmente nas áreas com *Pinus elliottii*. Em função do pequeno número de rotações de cultivo florestal realizadas nas áreas até então, nas duas regiões, as características originais do solo ainda prevalecem, porém já sendo possível perceber alterações em função da deposição de resíduos e do manejo realizado na vegetação.

Palavras-chave: fracionamento físico, matéria orgânica do solo, relação C/N, Pinus.

ABSTRACT

Doctor's Thesis

Masters degree Forestry Program
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

SOIL ORGANIC MATTER STOCK IN *Pinus taeda* AND *P. elliottii* STANDS IN TWO REGIONS OF RIO GRANDE DO SUL

Author: Eleandro José Brun

Advisor: Prof. Dr. nat techn Mauro Valdir Schumacher

Date and place of Defense: Santa Maria, Jul, 28th 2008.

The soil quality monitoring in planted forests, through the efficient use of indicators, is important for the non degradation of the soil by management practices and assessment of possible increases / decreases in the amount of carbon stored. The objective was to assess changes in carbon and nitrogen content and storage in total fractions (COT and NT), particulate (COP and NP) and minerals associated (COAM and NAM) in four *Pinus taeda* L. stands in the Campos de Cima da Serra-RS (CCS) and four of *Pinus elliottii* Engelm., in Depressao Central-RS (DC) under different conditions of soil and forest management. Control plots like references treatments were evaluated: natural field burned annually (CNQA) and *Araucaria angustifolia* Forest (FOM) in CCS; natural field harvested and not burned (CN) and a Seasonal Deciduous Forest (FED) in DC. In each of these areas, twelve samples of litter and twelve soil samples (sub-samples: 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm) were collected. In the laboratory, the physical fractionation and chemical analysis of soil was done, in relation to carbon and nitrogen in the different fractions obtained, pH and soil density, and C and N content in litter. In CCS, the areas with *Pinus taeda* reached the highest values of accumulated litter, proportional to time of the use area with the planting and also proportional of to the residues management adopted. The carbon accumulation in the litter was influenced by its biomass, with levels differed little between the areas with *Pinus taeda* and FOM, with minors in CNQA. The levels of N were higher in FOM and in the areas of *Pinus taeda* with original vegetation of FOM, for the CNQA and *Pinus taeda* in area originally CNQA. The carbon accumulation in the soil showed, for the total fraction, in areas where the predominance of biomass was burnt and withdrawal, the FOM and CNQA, respectively. The CNQA, in turn, showed the

largest stockpiles of COP, along with the area of burning of biomass in the original area of FOM. The COAM was stored in greater quantity in the same areas of dominance of the TOC. The accumulation of carbon was associated with C-coal from burns and the litter additions, harvested collection and renewal of roots. The changes in the nitrogen levels was very similar to the carbon in depth and among treatments, occurring only a situation of consumption of N fraction of the mineral in the *Pinus taeda*. The *Pinus taeda* plantations in original area of FOM are predominant in the N accumulation as well as the FOM witness. Depending on their origin and constitution, the COP gives greater relations C/N. In the treatments studied in DC, the accumulation of litter was higher in areas with *Pinus elliottii*, but not proportional to plantations ages, according to differences in site quality. This aspect also influenced the low carbon content in the area of 24 years, even with greater accumulation of litter and average content of N. The potential for accumulation of carbon on the ground is higher in areas of forest plantations for witnesses. The pH values are higher in the surface layer of soil, for all treatments. Areas with *Pinus elliottii* cultivation, the pH are slightly smaller than the witnesses. In the soil of the areas in DC, the highest levels of carbon in both fractions, occurred in FED and the *Pinus elliottii* plantations, taking the ground the CN submitted the lowest levels. At the level of stocks, the FED went to conditions similar to other treatments (TOC), but was lower in the accumulation of COP. The levels of N in both fractions were higher in the soil of the FED, leaving the plantations of *Pinus elliottii* and CN levels with intermediaries. The CN and the FED accumulated more NT, and the area with 24 years old was showed the smaller stocks. The C / N relation showed higher values in the particulate fraction, mainly in areas with *Pinus elliottii*. In function of the small number of forest rotations in areas, in the two regions, the original soil characteristics of the soil still prevail, but already can see changes in terms of residues management and use of the natural vegetation.

Key-words: physical fractionating, soil organic matter, C/N relation, Pinus.

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Resumo dos tratamentos estudados na avaliação do carbono orgânico do solo em áreas de cultivo de <i>Pinus taeda</i> e <i>Pinus elliottii</i> , em duas regiões do RS. 2007.....	44
TABELA 2 - Quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo e a variação apresentada, nos tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS. 2007.....	53
TABELA 3 - Teor (\pm CV%), quantidade de Carbono (C) e Nitrogênio (N) e a relação C/N na serapilheira acumulada sobre o solo, nos tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS. 2007.....	58
TABELA 4 - Densidade do solo (g cm^{-3}) nos diferentes tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS. 2007.....	60
TABELA 5 - Valores de pH do solo nos diferentes tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS. 2007.....	63
TABELA 6 - Estoques (Mg ha^{-1}) de carbono orgânico total, particulado e associado aos minerais, no solo dos diferentes tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS. 2007.....	70
TABELA 07 - Estoques (Mg ha^{-1}) de nitrogênio total, na fração particulada e na associada aos minerais, no solo dos diferentes tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS. 2007.....	74
TABELA 8 - Relação C/N na fração total, particulada e na associada aos minerais, no solo dos diferentes tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS. 2007.....	76

TABELA 9 - Quantidade (Mg ha^{-1}) de serapilheira acumulada sobre o solo e a variação apresentada, nos diferentes tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.....	78
TABELA 10 - Teor (\pm CV%), quantidade de Carbono orgânico (C) e Nitrogênio total (N) e a relação C/N na serapilheira acumulada sobre o solo, nos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.....	80
TABELA 11 - Densidade do solo (g cm^{-3}) nos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.....	84
TABELA 12 - Valores de pH do solo nos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.....	86
TABELA 13: Estoques (kg ha^{-1}) de carbono orgânico total, particulado e associado aos minerais, no solo dos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.....	91
TABELA 14: Estoques (kg ha^{-1}) de nitrogênio total na fração particulada, associada aos minerais e na total, no solo dos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.....	96
TABELA 15: Relação C/N na fração total, particulada e na associada aos minerais, no solo dos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.....	97

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - Localização do município de Cambará do Sul, RS (29°02'53,07" S; 50°08'39,57" O) e da sede da empresa Cambará S.A. (28°57'26,9"S; 50°03'7,8"O)..... 36
- FIGURA 2 - Localização da sede da empresa Todesflor Ltda. e das florestas de *Pinus elliottii* na região de entorno à sede. (30°32'27,5"S; 52°56'10,2"W). Cachoeira do Sul, RS. 2007..... 41
- FIGURA 3 - Amostra de solo e sua lavagem com jato d'água leve, visando à separação das frações em peneira de 0,063 mm. Freiburg, 2007..... 50
- FIGURA 4 - Fração associada à argila/silte no becker de 5 litros e, após transferida para frascos de vidro, visando a secagem em estufa. Freiburg, 2007..... 50
- FIGURA 5 - Fração particulada (COP) retida na peneira de 0,063 mm e posteriormente transferida para placas de petry. Freiburg. 2007..... 51
- FIGURA 6 - Moagem de amostra em gral para posterior análise de carbono e nitrogênio. Freiburg, 2007..... 51
- FIGURA 7 - Montagem das cápsulas e análise dos teores de carbono e nitrogênio em aparelho CNS. Freiburg, 2007..... 51
- FIGURA 8 - Distribuição dos teores de carbono orgânico particulado (COP), associado aos minerais (COAM) e total (COT), nas diferentes profundidades do solo dos diferentes tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS. 2007..... 65
- FIGURA 9 - Distribuição dos teores de nitrogênio total na matéria orgânica particulada (NP), associada aos minerais (NAM) e total (NT), em diferentes profundidades do solo, nos tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS.2007. 72

FIGURA 10 - Distribuição dos teores de carbono orgânico particulado (COP), associado aos minerais (COAM) e total (COT), nas diferentes profundidades do solo, nos diferentes tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007..... 88

FIGURA 11 - Distribuição dos teores de nitrogênio total na matéria orgânica particulada (NP), na associada aos minerais (NAM) e total (NT), nas diferentes profundidades do solo dos diferentes tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007..... 93

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Comparação entre as duas áreas de estudo em relação aos principais aspectos estudados.....	99
---	----

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	4
ABSTRACT	6
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE QUADROS	12
SUMÁRIO	13
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	17
1.2 Hipóteses e Objetivos	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Conceitos e dinâmica da matéria orgânica e carbono do solo	20
2.2 Efeito do manejo do solo na dinâmica da matéria orgânica e carbono	23
2.2.1 Efeitos do fogo na matéria orgânica do solo	28
2.3 Matéria orgânica/carbono e a qualidade dos solos florestais	30
2.4 Fracionamento da matéria orgânica do solo	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 Caracterização da Área de Estudo	36
3.1.1 Região 1 – Campos de Cima da Serra.....	36
3.1.1.1 Localização	36
3.1.1.2 Clima	37
3.1.1.3 Solos	37
3.1.1.4 Vegetação	38
3.1.2 Região 2 – Depressão Central	41
3.1.2.1 Localização	41
3.1.2.2 Clima	42
3.1.2.3 Solos	42
3.1.2.4 Vegetação	42
3.2 Metodologia	43
3.2.1 Seleção das áreas amostrais	43
3.2.2 Coleta de Amostras e Dados.....	48

3.2.3 Análise das Amostras.....	49
3.2.4 Análise dos dados	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 Região 1 – Campos de Cima da Serra - RS	53
4.1.1 Carbono orgânico e Nitrogênio total na serapilheira acumulada sobre o solo..	53
4.1.2 Densidade do Solo	59
4.1.3 pH do Solo.....	62
4.1.4 Carbono orgânico: concentração, estoque e fracionamento	64
4.1.5 Nitrogênio total: concentração, fracionamento e estoque.....	71
4.1.6 Relação C/N no solo.....	75
4.2 Região 2 – Depressão Central, RS	77
4.2.1 Serapilheira acumulada.....	77
4.2.2 Densidade do Solo	83
4.2.3 pH do Solo.....	85
4.2.4 Carbono orgânico: concentração, fracionamento e estoque	86
4.2.5 Nitrogênio total: concentração, fracionamento e estoque.....	92
4.2.6 Relação C/N no solo.....	97
4.3 Comparação entre as duas áreas de estudo	98
5 CONCLUSÕES	102
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as florestas de rápido crescimento, tais como as de pinus, eucalipto e acácia-negra, têm ganhado importância não somente para a produção florestal, mas também por serem consideradas drenos do carbono atmosférico. Porém, para que as florestas plantadas sejam drenos eficientes de carbono, é também necessário considerar os aspectos nutricionais e de preservação dos solos, os quais irão se refletir na quantidade de carbono acumulada.

O setor florestal do Rio Grande do Sul (RS) vem atingindo grande importância como participante do cenário da economia rural do estado. Todos os plantios, desde os localizados em grandes áreas, geralmente pertencentes a empresas florestais, e também os pequenos plantios, em médias e pequenas propriedades rurais, apresentam grandes possibilidades econômicas e sociais, gerando renda e empregos. Ambientalmente são muito promissores na captura de carbono da atmosfera, fixação em sua biomassa e incorporação gradativa do mesmo no solo, além, de outros inúmeros benefícios ambientais relacionados.

Apesar disso, os plantios florestais do RS ocupam área ainda pouco significativa (aproximadamente 400 mil ha, sendo destes, 160 mil ha de *Pinus* sp.), o que equivale a, aproximadamente, 1% da área do estado com povoamentos florestais, de acordo com os dados mais atuais (SINDIMADEIRA, 2006). É de fundamental importância que os plantios sejam ampliados, não somente para atender às demandas social e econômica apresentadas, como também por serem as florestas plantadas de rápido crescimento as que apresentam os maiores potenciais de seqüestro e fixação de carbono, tanto na sua biomassa como no solo.

Porém, para que os solos sob florestas realmente tenham incremento em carbono com o passar das sucessivas rotações, boas práticas silviculturais e de manejo devem ser adotadas. Dentre essas, se podem citar práticas já comprovadamente eficientes, como cultivo mínimo, adubação segundo recomendação de análise de solo ou tecido vegetal, manutenção de cobertura vegetal, viva ou morta sobre o solo, não-remoção dos resíduos de desramas e desbastes, colheita somente da fração madeira até um diâmetro mínimo aproveitável, não uso da queima de resíduos.

Essas boas práticas estão sendo disseminadas já há alguns anos. Atualmente, muitos silvicultores já trabalham de acordo com os preceitos relatados. Porém, acredita-se que grande parte deles ainda não utiliza boas práticas de manejo florestal, por diversos fatores.

Dentre esses fatores, ainda pode residir o desconhecimento das técnicas a esse respeito. No entanto, muitos plantadores, mesmo conhecendo o que se pode fazer, não vêem retorno direto pela realização de práticas silviculturais adequadas, na maioria das vezes de maior custo do que outras, desprezando erroneamente técnicas com bons resultados ambientais e também de retorno econômico, mesmo sendo a médio e longo prazo.

De forma a dar resposta a esses quesitos e também em função da grande demanda de estudos relacionados ao seqüestro de carbono em diferentes ecossistemas, nos últimos anos, muitos projetos florestais ambientalmente corretos, dentro de preceitos de sustentabilidade, têm sido implantados e/ou readequados. Nesses, a necessidade de continuidade em longo prazo e de monitoramento constante se fazem cruciais.

Para que esses mecanismos sejam fundamentados e periodicamente atualizados em suas tecnologias, torna-se necessário avaliar os reais benefícios adquiridos até então. Para a consecução desse monitoramento, a adoção de variáveis que dêem resposta mais rápida no tempo são muito importantes, uma vez que podem abreviar o tempo de monitoramento e antecipar possíveis mudanças nas estratégias de manejo florestal.

Assim sendo, a avaliação do carbono acumulado no solo em cultivo de *Pinus* sp., em áreas de mais antigo cultivo com as espécies do gênero no estado do Rio Grande do Sul, é um instrumento muito útil no fornecimento de informações que respaldem a implantação e a continuidade de boas práticas silviculturais em florestas plantadas com finalidade econômica. Além disso, podem se tornar, diretamente, um ganho econômico, através da venda de créditos de carbono para outros países e/ou empresas poluidoras.

Juntamente a esses quesitos, o conceito de qualidade do solo, o qual é avaliado através de um grande número de variáveis, mas que tem na matéria orgânica e no carbono orgânico do solo um dos principais indicadores, deve ser levado em conta.

De acordo com Conceição et al. (2005), a matéria orgânica é um eficiente indicador para discriminar a qualidade do solo em função dos sistemas de manejo adotados, uma vez que se relaciona com atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

No entanto, muitos estudos sobre sistemas de manejo do solo evidenciam a pouca sensibilidade da medida apenas do carbono orgânico total. De acordo com Leite et al. (2003), entre as alternativas tem-se apontado o carbono orgânico da fração leve ou carbono orgânico particulado, uma fração que tem melhor sensibilidade e que reflete as ações antrópicas sobre o solo.

Para uma boa avaliação da qualidade do solo, variáveis que apresentem boa precisão e sensibilidade aos efeitos das práticas de silvicultura e manejo devem ser utilizadas. Essas variáveis, indicativas da qualidade de um solo, são componentes da matéria orgânica do solo, dentre os quais se podem citar o Carbono orgânico Particulado (COP), Carbono orgânico Associado aos Minerais (COAM), entre outras frações (Conceição et al., 2003).

1.1 Justificativa

Os recursos florestais e as áreas ocupadas por florestas devem ser manejados de forma a suprir socialmente, economicamente, ecologicamente, cultural e espiritualmente, as gerações presentes e futuras (Forest Stewardship Council - FSC, 1996).

Dentro desse princípio do Forest Stewardship Council, fica evidente a necessidade de que as florestas, sejam elas plantadas ou naturais, tenham que suprir vários aspectos benéficos à sociedade. Dentro do enfoque ecológico, os plantios florestais, que geram benefícios econômicos e sociais, devem ser cuidadosamente manejados visando à perpetuação dos benefícios ecológicos. Para tanto, o monitoramento constante das atividades florestais deve ser algo sempre presente na Silvicultura.

O monitoramento ambiental de florestas plantadas deve contemplar os diversos recursos do ambiente envolvido, de forma a quali-quantificar as entradas e saídas de elementos químicos do ecossistema, visando estabelecer parâmetros que levem ao entendimento de que a oferta constante de recursos ao mercado florestal não venha a implicar futuros problemas de funcionalidade do ecossistema. Dentre

esses problemas, um dos mais importantes está relacionado à qualidade do solo sob florestas, a qual necessita ser monitorada com o uso de meios eficientes.

No Sul do Brasil, estudos que avaliem a qualidade do solo em florestas plantadas em substituição a campos e florestas nativas são realmente escassos, sendo que para florestamentos de *Pinus* sp., praticamente não se conhecem trabalhos realizados no estado do Rio Grande do Sul.

A grande maioria das áreas cultivadas com florestas do gênero apresenta como característica um número ainda reduzido de rotações, esperando-se que com isso, os indicadores normais de mudanças na condição do solo ainda não expressem variações significativas.

Dessa forma, a determinação de variáveis que tenham maior sensibilidade às mudanças no uso do solo, em menor período de tempo, é primordial para que sejam avaliadas com precisão as práticas de manejo atuais e para que se tenha embasamento para proposição de mudanças nas práticas atuais, visando à conservação do solo em áreas com plantios florestais.

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo já vem sendo usado para avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de plantios agrícolas, mostrando-se ser um bom indicador das mudanças ocorridas no solo em função do manejo aplicado.

Assim, a validação de métodos de estudo eficientes em sistemas agrícolas, para áreas de plantios florestais, é vista como ferramenta útil na oferta de subsídios que embasem a avaliação de possíveis mudanças na qualidade do solo com o decorrer de rotações sucessivas, comparando diferentes sistemas de manejo.

1.2 Hipóteses e Objetivos

Dentro desse enfoque, o presente estudo apresenta como hipóteses e objetivos:

- Hipótese 1: Os estoques de carbono e nitrogênio no solo total e nas diferentes frações de matéria orgânica dos solos cultivados com *Pinus taeda* L., por diferentes períodos, são diferenciados em relação àqueles sob floresta nativa e campo nativo na Região dos Campos de Cima da Serra (RS);

- Hipótese 2: Os estoques de carbono e nitrogênio nas diferentes frações de matéria orgânica dos solos cultivados com *Pinus elliottii*, por diferentes períodos, são diferenciados em relação àqueles sob floresta nativa e campo nativo na Região da Depressão Central do RS;

- Hipótese 3: Os estoques de carbono e nitrogênio nas diferentes frações de matéria orgânica dos solos cultivados com *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* por diferentes períodos, nos Campos de Cima da Serra e Depressão Central do Rio Grande do Sul, respectivamente, apresentam diferenças entre si;

- Objetivo 1: Quantificar o carbono orgânico total e o nitrogênio total nas frações total, particulada e associada aos minerais, da matéria orgânica do solo, em cultivos de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* sob diferentes idades e diferentes manejos realizados, na região dos Campos de Cima da Serra e Depressão Central do RS;

- Objetivo 2: Quantificar o carbono orgânico total e o nitrogênio total nas frações particulada e associada aos minerais, da matéria orgânica do solo, em áreas de campo nativo pastejado e manejado através de queima periódica, juntamente com área de floresta natural, nos Campos de Cima da Serra, e campo nativo sem queima e com roçada bianual e pastejo, juntamente com uma floresta natural, na Depressão Central do RS;

- Objetivo 3: Comparar os principais resultados obtidos nas duas regiões de estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conceitos e dinâmica da matéria orgânica e carbono do solo

Existem inúmeras referências na literatura científica sobre o tema que conceituam matéria orgânica do solo, com muitas semelhanças em sua abordagem. Dessa forma, optou-se por destacar algumas que melhor definem e melhor se adequam a este trabalho.

Silva et al. (2004) definem matéria orgânica do solo como o conjunto de todos os componentes que contenham carbono orgânico na sua constituição, incluindo desde microorganismos (vivos e mortos), resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos derivados dessa decomposição e substâncias microbiológica ou quimicamente alteradas.

A matéria orgânica do solo refere-se aos resíduos vegetais e animais misturados, em várias fases de decomposição, de substâncias sintetizadas microbiologicamente ou quimicamente, sendo que os resíduos dessa forma são continuamente degradados, até sua estabilização, assumindo diferentes composições químicas (SPAGNOLLO, 2004).

A fração orgânica é um componente essencial dos solos produtivos, melhorando características químicas e físicas deles, contendo nutrientes essenciais para as plantas, que são liberados após a decomposição (HASSETT; BANWART, 1992).

De acordo com Bayer e Mielniczuk (1999), a importância da matéria orgânica é enaltecida em solos tropicais e subtropicais, sob aspectos relacionados ao fornecimento de nutrientes às culturas, retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, estabilidade estrutural do solo, fluxo de água, aeração e atividade biológica.

Para Kononova et al. (1966), toda a diversidade de componentes orgânicos do solo pode ser classificada em dois grupos principais: o primeiro grupo de substâncias (componentes de plantas e resíduos animais em decomposição, produtos dessa decomposição e produtos de re-síntese em células bacterianas) consiste de vários componentes orgânicos nitrogenados e não-nitrogenados, que pertencem a grupos bem conhecidos em química orgânica, tais como proteínas e

produtos da sua decomposição, carboidratos, ácidos orgânicos, gorduras, ceras, resinas, entre outros. Esses componentes de natureza não específica, em grupo, formam entre 10 e 15% da quantidade total de matéria orgânica do solo. Esse grupo de substâncias é chamado também, por outros autores, tais como Schnitzer (1978) de matéria orgânica não-humificada, sendo de decomposição mais rápida que o segundo grupo.

No segundo grupo, componentes de natureza peculiar, que não podem ser relatados juntamente com os do primeiro grupo, ainda não completamente conhecidos, mas sendo isolados dos demais componentes do solo de forma peculiar, podem ser denominados de substâncias húmicas, formando uma grande parte dos componentes orgânicos dos solos desenvolvidos, entre 85 e 90%, com decomposição relativamente mais lenta (BARBER, 1984; KONONOVA et al., 1966).

A concentração de matéria orgânica no solo varia de 0,1% em solos de desertos até mais de 50% em Organossolos. É um compartimento que varia muito em composição, sendo que uma parte está sempre em constante fluxo e também é usada como fonte de energia por microorganismos. Estes processos liberam carbono para a atmosfera como dióxido de carbono, porém plantas e animais adicionam novos materiais orgânicos ao sistema, de forma contínua (BARBER, 1984).

Globalmente, a vegetação florestal e o solo contêm cerca de 1240 Pg (petagrama = 10^{15} g) de carbono, sendo que 2/3 do carbono terrestre está contido no solo (LAL, 2005). O reservatório de carbono orgânico no solo representa um equilíbrio dinâmico entre ganhos e perdas de carbono no ecossistema e uma variedade de fatores podem afetar esse equilíbrio no solo florestal (BHATI e PRESTON, 2006).

Entre esses fatores, Campos et al. (2004) relatam que a quantidade de matéria orgânica e carbono no solo sob sistema de cultivo é o resultado entre a taxa de adição de resíduos, a taxa de mineralização e a taxa de humificação desse material. Esses aspectos dinâmicos são conduzidos por fatores climáticos, edáficos, da vegetação e do manejo. Dentre esses fatores, o manejo, que pode também condicionar a estrutura da vegetação, em sistemas cultivados, é o mais passível de ação para homem e ciência.

A quantidade de matéria orgânica no solo é uma característica de extrema importância na determinação de seus parâmetros de aptidão ao uso na produção

florestal e agrícola, devido concentrar uma soma considerável de propriedades desejáveis. Uma alta concentração de matéria orgânica favorece a infiltração de água no solo, diminuindo problemas com erosão e escoamento superficial (ALISSON, 1973).

O carbono presente na matéria orgânica do solo, em todo o planeta, representa um dos principais componentes do ciclo do carbono. Estimativas dizem que o solo é o principal compartimento terrestre do elemento, podendo armazenar de duas a cinco vezes mais do que o carbono da atmosfera (KERN; JOHNSON, 1993; STEVENSON, 1994; ESWARAN et al., 1993).

Nos ecossistemas florestais, uma das principais fontes de alimentação (entrada) de matéria orgânica ao solo é, principalmente, a devolução de serapilheira, tanto naturalmente ocorrida como a decorrente de atividades de manejo (desramas, desbastes, colheita florestal, etc.). A morte de raízes também é um importante meio a ser considerado. Essa via é umas das mais relacionadas à nutrição das espécies vegetais, via ciclagem biológica de nutrientes, sobretudo em sítios de baixa fertilidade.

A composição média da matéria orgânica do solo é de, aproximadamente, 50% de carbono, 5% de nitrogênio, 0,5% de fósforo, 0,5% de enxofre, 39% de oxigênio e 5% de hidrogênio (relação peso/peso). Obviamente, esses valores variam significativamente de solo para solo (BARBER, 1984).

Nos ecossistemas naturais em que um mesmo tipo de vegetação permanece por longo período de tempo, a matéria orgânica do solo atinge um estado de equilíbrio em que as perdas são compensadas pelos ganhos, fazendo com que o seu conteúdo permaneça constante até que ocorram mudanças na cobertura vegetal. Quando a vegetação sofre alterações, por influência humana ou não, dá-se uma mudança correspondente no conteúdo de matéria orgânica do solo, uma vez que se alteram as entradas dos constituintes da mesma e ocorrem modificações nas taxas de decomposição e perdas (COSTA LIMA et al., 1995).

De acordo com Andrae (1978), a condição do ambiente de determinado local traz como reflexo o tipo de vegetação natural e a composição da matéria orgânica. Também o teor de nutrientes na matéria orgânica influi sobre a decomposição e ciclagem de nutrientes, uma vez que materiais com altas relações C/N, C/P, C/Ca, C/K, etc., levam mais tempo para se decompor.

De acordo com esse mesmo autor, a substituição de florestas latifoliadas por coníferas pode acarretar redução no pH, aumento do húmus e no valor das relações do carbono com os demais nutrientes, o que poderia provocar algum tipo de degradação do solo, devido à menor taxa de decomposição e indisponibilização de nutrientes para a absorção das plantas.

Este entendimento, atualmente, pode ter outras variantes acrescentadas, uma vez que a menor taxa de decomposição e a maior humificação pode trazer consigo benefícios, como maior aprisionamento de carbono a longo prazo, auxiliando no seu seqüestro e fixação.

Os Cambissolos da região dos Campos de Cima da Serra do RS, o que também é válido para o Planalto Catarinense (FIGUEIREDO et al., 1995), apresentam altos teores de Al trocável e correspondente saturação por Al, sendo que o alto teor de matéria orgânica nesses solos auxilia na complexação do Al e na liberação de alguns cátions, causando o aumento da CTC (FLEIG et al., 1996).

2.2 Efeito do manejo do solo na dinâmica da matéria orgânica e carbono

Trabalhos realizados ainda no século XIX, citados em Kononova (1975), na Rússia europeia, mostraram que os solos sob vegetação perene apresentavam vantagens na acumulação de húmus, de forma associada às condições climáticas, quando essas permitem uma lenta decomposição dos resíduos depositados na superfície. Mesmo assim, esse trabalho ainda não havia considerado aspectos qualitativos da matéria orgânica do solo.

Porém, mais tarde, trabalhos relacionaram os teores de N na matéria orgânica como importante característica do solo, com a descrição de que os solos de regiões áridas têm baixo teor de húmus, mas com alto teor de N. No caso contrário, solos de regiões úmidas são caracterizados por alto teor de húmus, mas com baixo teor de N (KONONOVA, 1975). Atualmente, esse conhecimento é consagrado, expresso na forma de relação C/N, onde o acúmulo e a qualidade do húmus têm estreitas relações com os fatores de formação do solo.

Cabe também ressaltar que, com essa observação, o autor já fornecia alguma base para o entendimento da relativamente lenta velocidade de decomposição dos resíduos orgânicos em áreas florestais plantadas com coníferas, que ocorre muito em função da alta produção de serapilheira e por fatores como o alto teor de lignina

e polifenóis desse material, constituindo cadeias carbonadas de difícil degradação pela microfauna e microflora do solo, o que ocasiona uma alta relação C/N, com lenta decomposição e maior acúmulo de material sobre o solo.

A concentração de N nos resíduos de colheita, principalmente sob a forma de proteína, é variável, assim como os teores de celulose e lignina (PAUL; CLARK, 1996). O conteúdo de proteína pode variar de 1% nas plantas com alta relação C/N até 22% nas folhas de gramíneas de rápido crescimento e sementes. A celulose, polissacarídeo mais abundante da natureza e o principal constituinte da maioria das paredes celulares, possui teores variando de 20 a 40% da massa seca das plantas. O teor de lignina, o mais resistente dos materiais da planta, varia em função de tecido, órgãos, origem botânica, idade da planta e fatores ambientais. Substâncias solúveis como açúcares, aminoaçúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos podem representar acima de 10% do peso seco da planta, as quais são prontamente liberadas dos resíduos das plantas e rapidamente utilizados pelos microorganismos do solo, sendo de extrema importância para a atividade microbiana na serapilheira em decomposição e na rizosfera.

Também são ressaltadas atualmente as influências de condições ambientais desfavoráveis à decomposição, tais como deficiência hídrica e de nutrientes, variáveis de acordo com a produtividade do sítio (REISSMANN; WISNEWSKI, 2000).

Por outro lado, segundo os mesmos autores, em solos tropicais altamente intemperizados, o conteúdo de matéria orgânica é geralmente baixo, com a produção sendo regulada pela taxa de produção primária de material orgânico, pela distribuição dos fotoassimilados entre a parte aérea e raízes e pela velocidade de decomposição dos compostos orgânicos.

A matéria orgânica é retornada ao solo, naturalmente, via deposição de restos de plantas, resíduos animais e excrementos, que são depositados na superfície e misturados com os componentes minerais do solo após a decomposição (WHITE, 1979).

O retorno anual de resíduos de plantas e animais varia muito de acordo com a região climática e o tipo de vegetação ou uso do solo. Conforme White (1979), a quantidade de carbono que é depositada sobre a superfície do solo, de forma natural, anualmente, pode variar entre 0,1 Mg ha⁻¹ em florestas de Pináceas nos

Alpes europeus até $10,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ em áreas de Florestas Tropicais no Oeste da África.

Conforme Correia; Andrade (1999), principalmente nos ecossistemas sob florestas, o compartimento formado pela serapilheira e solo é o sítio de todas as etapas da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes, consagrando-se como um conjunto que representa bem mais que uma fonte de carbono e energia para os organismos do solo, mas também onde todas as ações do organismo ocorrem, garantindo sua sobrevivência e reprodução. Devido a isso, pode-se também considerar a serapilheira como parte da matéria orgânica do solo, pela sua importância nos efeitos físicos, químicos e biológicos sobre o solo, embora tal aspecto não seja um consenso entre os pesquisadores.

O estoque de matéria orgânica e carbono no solo é significativamente afetado por distúrbios naturais e antropogênicos. Os distúrbios naturais podem ser altamente destrutivos, causando danos drásticos ao ecossistema, tais como vento, fogo, seca, insetos e doenças, os quais podem resultar em mudanças na umidade do solo, regime de temperatura, sucessão de espécies florestais, biomassa acumulada e retorno de serapilheira ao solo (ELLIOT, 2003). Os fatores antropogênicos são representados pelas atividades de manejo florestal, desmatamento, plantações florestais e seu conseqüente manejo (McGUIRE et al., 2002).

De acordo com Hassett; Banwart (1992), quando solos virgens começam a ser cultivados, o ambiente do solo é modificado. Essas mudanças geralmente resultam em uma redução no teor de matéria orgânica do solo. Inicialmente existe um rápido decréscimo, mas depois de alguns anos, um novo nível de equilíbrio da matéria orgânica do solo é estabelecido.

Segundo os autores citados, esse novo nível pode considerar os aspectos do solo e também os econômicos. A matéria orgânica do solo pode ser mantida e até incrementada pelo retorno de materiais ao solo, que podem ser desde resíduos de plantas, resíduos animais ou industriais.

Quando ocorre a substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas, percebe-se o declínio no conteúdo de C do solo, decorrente da redução no aporte e do aumento da decomposição da matéria orgânica. Apesar da matéria orgânica do solo aumentar sob o sistema plantio direto, por apresentar elevado aporte de resíduos, deve-se considerar que esse aumento também depende de outros fatores, tais como: clima, principalmente temperatura, precipitação, textura

e mineralogia do solo (ALVAREZ; LAVADO, 1998). O aumento no conteúdo de C pode ser limitado em solos de textura fina e mal drenados e em locais onde baixas temperaturas dificultem a decomposição dos resíduos orgânicos (ANGERS et al., 1997; PAUSTIAN et al., 1997).

O solo é um sistema dinâmico, dependendo das formas de uso e manejo adotadas, suas características podem ser bastante alteradas (ANDRADE, 1997). A cobertura florestal sobre um solo pode causar mudanças nas suas propriedades, especialmente pelo grau de proteção que oferece ao solo contra a erosão, pela capacidade do sistema radicular em penetrar no solo e extrair água e nutrientes e pela quantidade e qualidade da matéria orgânica produzida, que é gradualmente incorporada ao solo, aumentando o estoque de carbono orgânico no mesmo.

Dessa forma, o solo pode ser caracterizado como um importante reservatório de carbono, principalmente nos primeiros 100 cm de profundidade, onde podem estar armazenados entre 1,3 a 2,0 trilhões de megagramas ($Mg = 10^6 g$) de carbono, o que corresponde ao dobro da concentração de carbono atmosférico (MELO, 2003).

De acordo com Schumacher et al. (2002), em povoamentos de *Araucaria angustifolia*, o solo apresenta cerca de 70% do carbono orgânico do povoamento até 100 cm de profundidade, onde a floresta, aliada a outros fatores edafoclimáticos, apresenta uma alta capacidade de retenção de carbono orgânico. Para isso deve-se prezar por práticas sustentáveis na implantação, manutenção e colheita da floresta, tais como cultivo mínimo, manutenção dos resíduos no sítio florestal sem a sua posterior queima, descasque no local ou devolução da casca, elevando-se, assim, os teores desse elemento no solo e garantindo a produtividade futura da floresta.

A importância do tipo de manejo dado ao solo quanto à dinâmica do carbono é ressaltada principalmente quanto ao preparo do solo para implantação do povoamento, pois se sabe que toda perturbação antrópica ao sistema solo + vegetação normalmente resulta na perda de carbono, reduzindo o seu teor e aumentando a degradação da qualidade do solo ao longo do tempo (MATIAS et al., 2002).

Dentro desse cenário, a implantação de florestas apresenta como vantagem a possibilidade de preparo mínimo da área do povoamento, o que garante um menor revolvimento do solo, com conseqüente menor perda de carbono, mas principalmente o acúmulo desse elemento em camadas mais profundas, como de

até 20 cm ou mais, ao contrário do que ocorre na atividade agrícola, onde o maior acúmulo se dá nos 10 primeiros cm de solo. Caso ocorra preparo convencional da área, permite-se a liberação de boa parte do carbono estocado, devido ao aceleração da velocidade de decomposição da matéria orgânica.

Tal fato pode ser evidenciado no estudo realizado por Sisti et al. (2002), onde se comparou o estoque de carbono no solo após 14 anos de preparo convencional do solo com uma floresta nativa em Passo Fundo, RS. No referido estudo, os autores relatam que, no preparo convencional, o estoque de carbono acumulado no período foi de 29,8 Mg ha⁻¹ na camada de 0–20 cm, enquanto que na floresta nativa, foi de 34,2 Mg ha⁻¹, o que representa um decréscimo de 4,4 Mg ha⁻¹ em relação ao ecossistema de floresta, sendo observada uma significativa redução do estoque de C na camada pela elevada mineralização da matéria orgânica, e devido à movimentação do solo para implantação das culturas (milho - *Zea mays* e soja - *Glycine max*) na área.

Segundo Matias et al. (2002), o que eleva a capacidade das florestas em propiciar o acúmulo do carbono orgânico em camadas mais profundas do solo é a intensa adição de resíduos no ecossistema florestal, que contribui para o maior teor de carbono na camada superficial e sub-superficial. Além disso, promove a liberação e conservação de parte desse no ciclo biogeoquímico em função do acúmulo de biomassa das plantas, o que dá importância primordial à floresta dentro da dinâmica do ciclo global do carbono em relação a outros agroecossistemas.

Porém, a deposição e contribuição da serapilheira ao solo quanto aos valores de acúmulo de carbono orgânico sofrem variações consideráveis dentro da ciclagem de nutrientes, devido a fatores como a origem das espécies que formam a floresta ou povoamento, pois espécies de origem exóticas como dos gêneros *Pinus*, *Eucalyptus* e *Casuarina*, apresentam decomposição relativamente lenta da serapilheira e uma conseqüente imobilização dos nutrientes, ocasionando assim um alto teor de carbono orgânico no solo florestal. Além da idade dos povoamentos, condições climáticas, déficit de água no solo e serapilheira, conteúdo de substâncias (lignina, hemicelulose, celulose, polifenóis, entre outros), tratos silviculturais, influenciam no potencial de decomposição e densidade da população de organismos decompositores (CALDEIRA et al., 2002).

2.2.1 Efeitos do fogo na matéria orgânica do solo

Outro efeito que pode ser muito significativo sobre a matéria orgânica do solo em áreas florestais é a utilização do fogo como prática de limpeza e/ou manejo.

A destruição da cobertura orgânica do solo pela queima, expondo-o diretamente às intempéries, provoca grandes modificações em suas propriedades físicas, particularmente, porosidade e permeabilidade. Principalmente em solos argilosos, ocorre o entupimento dos poros por cinzas e partículas minerais associadas, dificultando a penetração da água, que escorre sobre a superfície, em forma de enxurrada, provocando erosão e degradação do solo. Os danos também se estendem à química e à microbiologia do solo, uma vez que boa parte dos nutrientes contidos nos restos vegetais é volatilizada pelo fogo, que também destrói grande parte dos organismos (SCHUMACHER et al., 2005).

De acordo com Soares (1977), grande parte do efeito do fogo sobre o solo depende do tipo de matéria orgânica que cobre o solo mineral. O consumo de MOS pode variar bastante, dependendo da intensidade do fogo.

De acordo com Schumacher et al. (2005), os danos ao solo são particularmente mais severos de acordo com intensidade e freqüência das queimas. Os extremamente severos causam a completa destruição de toda a cobertura vegetal, expondo totalmente o solo. Se o incêndio ocorre com freqüência em determinada área, mesmo não sendo muito intenso, ele não permitirá o acúmulo de matéria orgânica (sendo periodicamente destruída), expondo, portanto, de forma permanente o solo.

Nesses casos, de acordo com Spagnollo (2004), a matéria orgânica pode ser diretamente afetada pela queima, ou ainda indiretamente pela atuação sobre os microorganismos relacionados à decomposição. Uma maneira de avaliar a severidade das queimadas, tanto prescritas como acidentais, é quanto ao grau de consumo de MOS do solo.

Os fogos podem ser de baixa intensidade e/ou alta velocidade de propagação, e consumir parcialmente a MOS ou muito intensos e de propagação lenta, volatilizando toda ela (KUNST, 1996). No primeiro caso, o efeito sobre o ecossistema pode ser positivo e, no segundo, muito negativo.

A temperatura alcançada é o principal fator que regula as modificações que a MOS sofrerá. Em alguns casos, a temperatura encontra-se relativamente baixa (50-

60°C), com efeito mais pronunciado em alguns componentes biológicos do solo, enquanto outros alcançam entre 10 e 20 vezes a temperatura ambiente, com grande efeito na MOS.

Em estudo avaliando-se a temperatura do fogo e seu efeito na MOS, Debono (1991) definiu classes de danos, onde a MOS pode ser destilada entre 200-300°C, carbonizada entre 300-400°C e consumida quase que completamente acima dos 450°C. Entre 180-300°C, aproximadamente 85% da camada de resíduos é consumida por uma destilação destrutiva e combustão. Os componentes orgânicos voláteis são destilados a temperaturas acima de 180-200°C.

Os ecossistemas onde a quantidade de matéria orgânica está alocada não somente na superfície, mas também com altos teores na sub-superfície, têm suscetibilidade menor às perdas (ANDERSON, 1991). Dessa forma, florestas tropicais úmidas são mais sensíveis ao fogo, onde, aproximadamente, 45% do C pode ser perdido, encontrando-se na camada orgânica acima do solo e nos primeiros centímetros do mesmo. Campos naturais e savanas são ecossistemas mais adaptados ao fogo, permanecendo armazenado no sistema cerca de 83-85% do C. Isso, entretanto, está sujeito à severidade e à intensidade do fogo.

Dependendo da intensidade, da umidade do material combustível e do solo, e da espessura da camada orgânica, o consumo do material orgânico pode variar de moderado a intenso. Campbell et al. (1977) descreveram o efeito de fogo moderado e intenso em *Pinus* no Arizona (USA), encontrando na área com queima moderada 38% da cobertura na superfície do solo, enquanto na área com queima intensa a manutenção da cobertura variou de inexistente a 23%.

De acordo com trabalhos citados por Gomes Neto (1994), a perda de MOS devido à queima dos resíduos de colheita florestal, nos estados de Oregon e Washington, foi de 75% na camada de solo superficial (0-1,25 cm), com o conteúdo original de MOS indo de 46,3% para 11,3%, causando, conseqüentemente, decréscimos na CTC do solo.

O nitrogênio também apresenta potencial de perda pelo fogo, em função da massa consumida e intensidade do fogo, que em floresta pode variar de 33 a 100% do total de N (RAISON, 1979) e inicia quando as temperaturas ultrapassam 200-400°C (NEARY et al., 1999).

2.3 Matéria orgânica/carbono e a qualidade dos solos florestais

A ocorrência de grande degradação dos solos no mundo, especialmente aqueles sob exploração agrícola em regiões tropicais em desenvolvimento, despertou a atenção da comunidade científica com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração dos mesmos com cultivos diversos (MIELNICZUK, 1999).

Nos últimos anos, vários conceitos de qualidade do solo foram propostos, porém, um dos que melhor reflete a busca por sustentabilidade dos solos é: “a sua capacidade em manter a produtividade biológica, dentro do limite de funcionamento do ecossistema, mantendo ou melhorando a qualidade ambiental e a vida animal e vegetal saudável sobre a terra” (DORAN; PARKIN, 1994).

Para o monitoramento da qualidade do solo, de forma que possam ser sugeridas modificações nos sistemas de manejo em uso, a fim de evitar a sua degradação, é necessário definir atributos do solo e do ambiente sensíveis ao manejo e de fácil determinação.

Entre os principais indicadores de qualidade do solo sugeridos em Mielniczuk (1999), encontram-se o carbono orgânico total (COT) e a matéria orgânica (MO).

A matéria orgânica do solo é tida, em consenso, pelos pesquisadores da área, entre eles Doran e Parkin (1994), Mielniczuk (1999), Conceição et al. (2005), Amado et al. (2001), como um bom indicador de qualidade do solo, pois o seu teor é muito sensível às práticas de manejo, principalmente em regiões tropicais e subtropicais. Também, devido à maioria dos atributos do solo e do ambiente, relacionados às funções básicas do solo terem estreita articulação com a MO, destacando-se a estrutura, a estabilidade dos agregados, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica, CTC, disponibilidade de nutrientes para as plantas, lixiviação de nutrientes, liberação de CO₂ e outros gases para a atmosfera.

Além de atuar como fonte primária e reserva de nutrientes para as plantas, a matéria orgânica do solo pode ser usada como atributo indicador da degradação ou qualidade do mesmo, por ser sensível às mudanças de manejo, da cobertura e às perturbações do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005; GREGORICH et al., 1994).

De acordo com Spagnollo (2004), o sucesso de esforços e práticas conservacionistas em manter a qualidade do solo, depende do entendimento de

como o solo irá responder a determinado uso ou prática em um certo tempo. Sistemas de cultivo com intensa mobilização do solo, desflorestamento, queima de campos naturais, destacam-se por proporcionarem diminuição na quantidade de MOS e, conseqüentemente, redução na qualidade do solo.

Vendo de outra forma, em hipótese, sistemas florestais teriam vantagens sobre os sistemas agrícolas, uma vez que nos primeiros são realizadas atividades de colheita e preparo do solo a cada 20 anos (aproximadamente, no caso de *Pinus* sp.) e somente atividades intermediárias de menor impacto, como desramas, desbastes, entre outras. Essas vantagens seriam decorrentes também de fatores como a alta produção anual de serapilheira e da significativa produção de resíduos em atividades de desrama, desbastes e corte final. Mesmo assim, caso os sistemas florestais sejam manejados de forma inadequada, com a colheita total da árvore, a queima dos resíduos e o uso de máquinas impróprias, pode-se também depreciar a qualidade do solo.

A qualidade do solo em sistemas de cultivo agrícola, avaliada através da matéria orgânica do solo (MOS) na camada 0-5 cm, mostrou que os cultivos sob sistema plantio direto de mucuna/milho (9424 kg ha^{-1}) em Santa Maria/RS e aveia + vica/milho + caupi (14174 kg ha^{-1}) e guandu/milho (16501 kg ha^{-1}) em Eldorado do Sul/RS, foram os que mais aproximaram, em termos de estoque de carbono orgânico no solo em relação à condição de referência, na forma de campos naturais, que acumularam 7178 kg ha^{-1} em Santa Maria e 15279 kg ha^{-1} em Eldorado do Sul (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Esses mesmos autores relatam que o preparo convencional do solo, com cultivo de aveia/milho, foi capaz de provocar uma redução de 44,5 e 21,9% no estoque de carbono orgânico do solo, e o preparo reduzido, com as mesmas culturas, redução de 39,3 e 21,0%, em relação ao campo natural referência.

Em outro trabalho realizado em Santa Maria/RS, Amado et al. (2001) encontraram uma taxa de acúmulo de $1,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de carbono, entre 0-10 cm de solo, entre o quarto e o oitavo ano de cultivo do consórcio milho+mucuna sob plantio direto. Esses autores ressaltaram a importância da grande contribuição em resíduos, como no caso do milho ($6,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), e da leguminosa, com adição significativa de nitrogênio ($140 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), no aumento da MOS.

Dessa forma, tendo-se a matéria orgânica como indicador de qualidade do solo, devem ser vistos os meios para sua avaliação, em áreas de florestas

plantadas, uma vez que as atividades de manejo apresentam relativa baixa intensidade, pelo maior tempo de rotação, quando comparadas a áreas agrícolas que têm atividades anuais de colheita e implantação. Assim, talvez não o total de MO no solo, mas o foco de estudo em frações da mesma pode expor indicações de interpretação mais rápida e nítida do contexto de manejo que o solo apresenta, e os caminhos que esse manejo poderá estar levando esse solo, à sua degradação ou a um condicionamento de qualidade superior ao estágio anterior.

2.4 Fracionamento da matéria orgânica do solo

A matéria orgânica pode persistir no solo por séculos, dependendo do grau de proteção em que se encontra. Em solos agrícolas, varia seu conteúdo entre 1% e 5%, podendo ser superior em solos florestais bem manejados, sendo, aliás, o manejo ou sistema de cultivo adotado o principal influenciador do processo dinâmico dessa fração do solo, uma vez que desencadeia diferenciados processos físicos, químicos e biológicos (MIELNICZUK, 1999).

A identificação dos diferentes componentes da MOS é de grande importância para o entendimento de sua dinâmica em um determinado sistema natural ou cultivado. Esse processo auxilia na formulação de inferências sobre o nível de sustentabilidade de um cultivo.

Apesar de boa parte das indicações de manejo da fertilidade do solo ser feita com base nos teores totais de nitrogênio e carbono, esses parâmetros, embora eficientes, não são suficientes para estudos mais detalhados, em função da complexidade da matéria orgânica, resultante de sua heterogeneidade e da sua dinâmica dependente de fatores climáticos, dos microorganismos, da sua relação com a vegetação e fração mineral do solo (CERETTA, 1995).

De acordo com Roscoe; Machado (2002), o conceito amplo de MOS (que inclui resíduos frescos ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral, assim como a porção viva, composta por raízes e pela fauna de solo) é teórico e, na maioria das vezes, o que se chama de MOS compreende somente parte dos componentes citados, dependendo em muito do preparo da amostra e da metodologia usada na determinação.

Em análises de rotina de fertilidade do solo, as amostras são destorroadas e tamisadas, eliminando-se todos os resíduos orgânicos maiores que 2 mm (incluindo-se toda a macro e parte da mesofauna) e analisados por oxidação em via úmida, método que é pouco sensível a frações com alto grau de humificação e a formas carbonizadas.

Os diversos tipos de fracionamento de solo, utilizados em estudos de MOS tentam reduzir essa heterogeneidade, procurando separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas, ao mesmo tempo, diferentes umas das outras (CHRISTENSEN, 2000).

Existem várias experiências de fracionamento químico da MOS. Consistem na extração de substâncias húmicas do solo e posterior obtenção dos três principais componentes (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas) baseada na diferença de solubilidade das substâncias húmicas em soluções ácidas ou alcalinas. Nestes trabalhos, o uso de diferentes extratores ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, H_3PO_4 , NaOH , $\text{NaOH} + \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, resina trocadora de íons) e de diferentes quantificações de ácidos húmicos e fúlvicos (determinação de carbono de cada fração por oxidação sulfocrômica, densidade ótica) tem dificultado a comparação de resultados para o mesmo tipo de solo, sob condições edafoclimáticas similares. De acordo com Roscoe; Machado (2002), estima-se que 65% a 75% da matéria orgânica de grande parte dos solos minerais sejam substâncias húmicas.

O húmus é uma fração mais ou menos estável da matéria orgânica do solo, sendo composto por várias substâncias, variando de acordo com o produto da decomposição das plantas e animais e com os novos produtos microbianos gerados (HASSETT; BANWART, 1992).

Apesar do uso do fracionamento químico da matéria orgânica com finalidade de avaliação do impacto do cultivo na qualidade do solo, esses métodos pouco têm contribuído para a identificação de compartimentos da MOS que diminua sob manejo intensivo e de modo distinto ao longo do tempo, uma vez que os ácidos húmicos e fúlvicos apresentam, em geral, baixa taxa de transformação e assim dificilmente se relacionam com processos de curto prazo (de alguns dias a décadas) geralmente estudados em solos cultivados (ROSCOE; MACHADO, 2002).

Dessa forma, a adoção de métodos físicos na separação da matéria orgânica do solo é considerada mais adequada, pois são considerados métodos menos

destrutivos e mais relacionados com a função e estrutura da matéria orgânica do solo *in situ* em relação aos métodos químicos (ROSCOE; MACHADO, 2002).

A classificação do estoque de MOS realizada por Mielniczuk (1999) em quatro compartimentos, os quais expressam diferentes resistências e funções no solo, evidencia e fundamenta o método adotado nesse trabalho. Esse autor classificou como primeiro compartimento, a (A) Biomassa vegetal viva, a qual é dependente do sistema de manejo, fertilidade e acidez do solo, disponibilidade de água, temperatura e radiação solar, sendo muito importante na ciclagem de nutrientes, erosão e incremento das plantas, porém permanece no solo neste estado por cerca de três meses.

Como segundo compartimento (B), os resíduos vegetais, raízes e exsudatos, são diretamente dependentes do compartimento A, tipo de resíduo, grau de trituração e incorporação dos resíduos e condições climáticas. Serve de fonte de alimento para a biota do solo, proteção contra erosão e fonte de nutrientes. O tempo de permanência é semelhante ao compartimento A. É um compartimento bastante dinâmico, onde 80% do carbono é liberado como CO₂, restando apenas 20% que farão parte de compostos orgânicos mais estáveis nos compartimentos C e D.

No terceiro compartimento (C), MOS não protegida é subdividida em biomassa microbiana e fração lábil da MOS (> 53 µm). São duas frações dependentes das condições edafoclimáticas do local e da magnitude do compartimento B, no primeiro caso, e A e B, no segundo caso. São responsáveis pela agregação temporária e fonte de nutrientes. A biomassa microbiana destaca-se pela decomposição dos resíduos, e considerável emissão de CO₂ que, em escala global, é estimada em 60 Gt C ano⁻¹ (Schlesinger, 1991). A fração lábil, por sua vez, entre outras funções, é fonte de energia para os microorganismos e atua na CTC do solo. Essa fração é profundamente afetada por perturbações no meio, possui um tempo de permanência de 2 a 5 anos e representa, aproximadamente, 1/3 do carbono orgânico do solo.

No quarto e último compartimento, (D) a MOS protegida (< 53 µm) é subdividida em função do tipo de proteção, estrutural ou coloidal. São frações dependentes da magnitude dos compartimentos anteriormente citados, intensidade de revolvimento do solo e textura. A fração estrutural depende ainda do grau de destruição dos agregados e a fração coloidal depende da mineralogia do solo. São

frações responsáveis pela agregação permanente e CTC do solo, podendo permanecer no solo por até 1000 anos.

A estabilização da MOS pela associação com a fração mineral do solo, chamada de estabilidade física, pode ser dividida em estabilidade estrutural e estabilidade coloidal, de acordo com a origem de proteção. A estabilidade estrutural provém da formação de microagregados, sendo a MO localizada no interior desses agregados, protegida da ação dos microorganismos. A estabilidade coloidal é resultante da formação de ligações estáveis (coordenativas) entre a MO e os cátions metálicos e os minerais do solo.

De modo geral, os sistemas de manejo afetam a fração lábil da MOS, e a fração humificada localizada no interior de microagregados, não tendo efeito sobre a fração coloidal (DUXBURY et al., 1989).

A técnica do fracionamento físico no estudo da MOS tem-se mostrado promissora, pois possibilita a separação de diferentes compartimentos orgânicos, cada qual respondendo, de forma distinta, às práticas de manejo (COLLINS et al., 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

3.1.1 Região 1 – Campos de Cima da Serra

3.1.1.1 Localização

As áreas estudadas encontram-se sob plantios de *Pinus taeda*, fragmento de Floresta Ombrófila Mista e campo natural, no município de Cambará do Sul/RS, em áreas pertencentes à empresa Cambará Celulose S.A. O município de Cambará do Sul localiza-se no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra (Figura 1). Os locais estudados apresentavam altitude média de 1020 m.

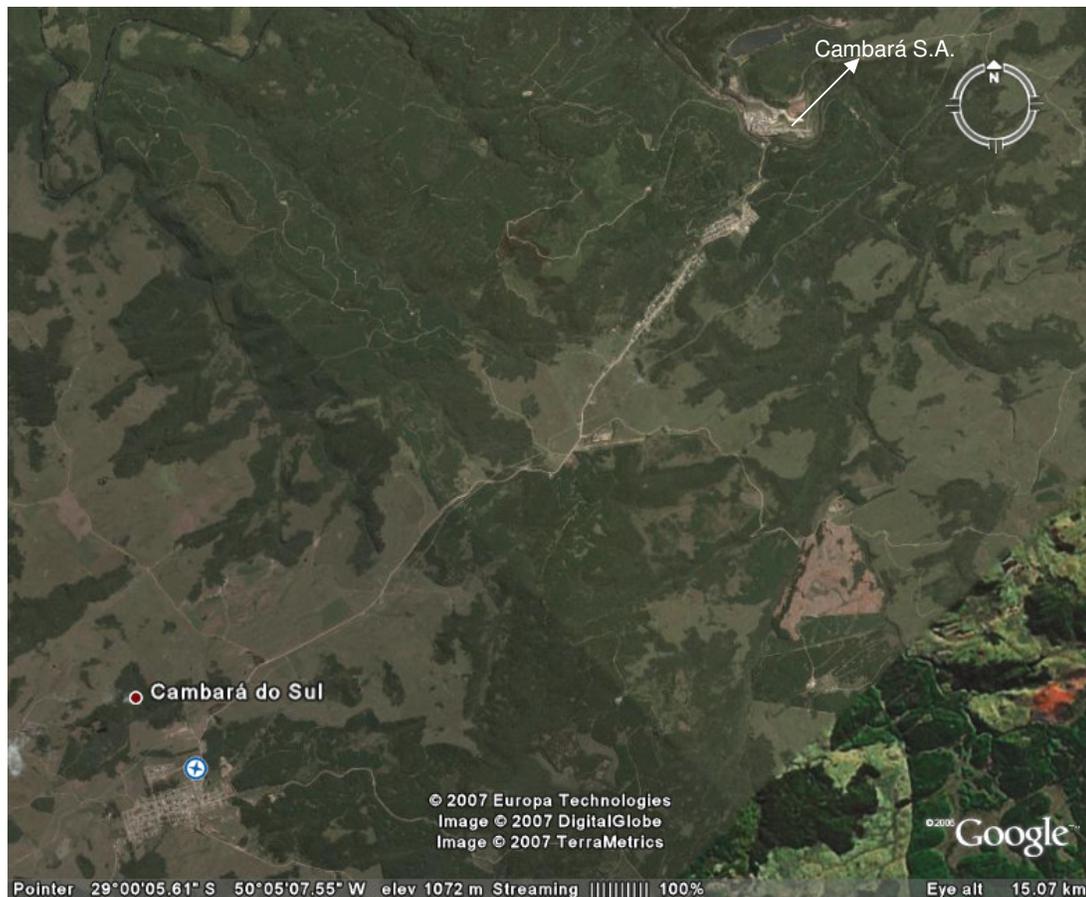


FIGURA 1: Localização do município de Cambará do Sul, RS (29°02'53,07" S; 50°08'39,57" O) e da sede da empresa Cambará S.A. (28°57'26,9"S; 50°03'7,8"O).

3.1.1.2 Clima

O clima dominante da região, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo Cfb, temperado úmido, sem estação seca e com verão de temperaturas amenas, as quais se situam com uma média anual de 14,8°C, temperatura mínima anual de 10°C e a máxima de 21,3°C, com uma precipitação média anual de 1.787 mm. A umidade relativa do ar fica em torno de 80%, com a ocorrência de nevoeiros freqüentes durante todo o ano, muitas geadas no inverno e ocorrência eventual de neve (MORENO, 1961).

Conforme Motta et al. (1971), os ventos dominantes na região são alísios, ou seja, sopram do mar para a terra, devido à região situar-se próxima ao litoral norte do estado do Rio Grande do Sul.

3.1.1.3 Solos

O solo tem sua constituição e origem a partir de rochas extrusivas básicas, intermediárias e ácidas (basalto, riolitos ou riolitos), resultantes dos derrames do período Triássico Superior, predominando solos rasos com horizonte A espesso e de coloração escura, rico em matéria orgânica, o que se dá devido ao clima frio e úmido da região, de tal forma que podem ser classificados como húmicos (BRASIL, 1973).

Dessa forma, o solo da região classifica-se, predominantemente, como Cambissolo Húmico. Ocorrem também Neossolos Litólicos distróficos típicos, pertencentes à Unidade de Mapeamento Guassupi (STRECK et al., 2002).

Os Cambissolos são solos profundos, moderadamente drenados, com cores bruno-avermelhadas, argilosos, friáveis e desenvolvidos a partir de rochas extrusivas básicas (basalto). Esses solos são fortemente ácidos, com saturação e soma de bases baixa e teores altos de alumínio trocável e matéria orgânica (STRECK et al., 2002).

O horizonte B apresenta coloração tipicamente brunada, nos matizes 7,5YR e 10YR, com valores e cromas geralmente baixos. Tem seqüência de horizontes A, (B) e C bem diferenciados, com baixo gradiente textural e valores relativamente baixos de relação silte/argila. A textura desses solos é comumente argilosa ao longo de perfis, podendo ser muito argilosa no horizonte B.

De acordo com Streck et al. (2002), a principal limitação de uso desses solos se deve à elevada acidez e aos altos teores de alumínio trocável, mesmo a soma de bases sendo alta, devido aos altos teores de matéria orgânica e à textura argilosa. Apresentam acidez potencial muito elevada, exigindo, dessa forma, quantidades elevadas de corretivos da acidez para a produção de colheitas satisfatórias. Outros fatores limitantes dizem respeito ao relevo e/ou fase de rochiosidade e pedregosidade que podem ocorrer, restringindo a mecanização nas áreas de maior declive.

De acordo com Brasil (1973), os teores médios de carbono nesses solos, nas camadas superficiais (0-17; 17-40 e 40-66 cm), giram em torno de 27,9; 22,4 e 17,6 g kg⁻¹, respectivamente. Para o N total, os teores ficam em 2,4; 1,7 e 1,3 g kg⁻¹, respectivamente, para as mesmas profundidades.

3.1.1.4 Vegetação

A vegetação que ocorre naturalmente na região é formada por Campo natural, Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista, com a presença de muitas araucárias (HUECK, 1972). Os plantios florestais de *Pinus* ocupam majoritariamente as áreas de campos naturais e pastagens antigamente implantadas.

a) Campo natural

A flora dos campos naturais do RS pode ser caracterizada com base em Rambo (2000), para o qual, a vegetação de campo pode ser semelhante em toda a região da estepe gramíneo-lenhosa, com a ocorrência significativa de vários gêneros da família das Asteraceae, tais como *Eupatorium*, *Vernonia*, *Lucilia*, *Pterocaulon*, *Achyroline*, *Gnaphalium*. Também as famílias Euphorbiaceae com o gênero *Croton*; Fabaceae dos gêneros *Lupinus*, *Desmodium*, *Adesmia*; Apiaceae dos gêneros *Eryngium*, *Hydrocotile*, também ocorrendo as famílias Verbenaceae, dos gêneros *Verbena* e *Lippia*, Amarantaceae, Labiatae e outras. Cabe lembrar como importante, a família Poaceae, com bom número de espécies, distribuídas nos gêneros *Paspalum*, *Panicum*, *Erianthus*, *Elionurus*, *Andropogon*, entre outros. Myrtaceae rasteiras ou arbustivas, Asteraceae dos gêneros *Baccharis* e *Eupatorium*, Pteridófitas dos gêneros *Pteris*, *Gleichenia*, *Lycopodium* são também presentes. Em

relação ao número de espécies, são destacadas as famílias Poaceae, Asteraceae e Fabaceae.

b) Floresta Ombrófila Densa

A Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica), em seus estágios iniciais, médios e avançados de sucessão, ocupa uma área de 683,75 km² (68.375 ha), o que representa 0,24% da superfície do Estado e 1,39% da área total coberta com florestas naturais.

De acordo com os dados do Inventário Florestal Contínuo do RS (SEMA-UFSM, 2001), nos estágios médio e avançado a Composição Florística apresenta 181 espécies pertencentes a 55 famílias botânicas, considerando-se os indivíduos com Circunferência à Altura do Peito (CAP) \geq 30 cm, além de 23 árvores não identificadas e algumas espécies exóticas, tais como: *Citrus* sp., *Tecoma stans* e *Hovenia dulcis*.

As famílias Myrtaceae, com 28 espécies, e Lauraceae, com 16 espécies, foram as mais expressivas da Floresta Ombrófila Densa, seguidas de Fabaceae (11), Euphorbiaceae (10), Salicaceae e Rubiaceae (7), Solanaceae e Moraceae (6), Annonaceae, Meliaceae, Myrsinaceae e Sapotaceae (5), Asteraceae, Bignoniaceae, Rutaceae e Sapindaceae (4), Aquifoliaceae, Arecaceae, Cecropiaceae e Verbenaceae (3). Das 34 famílias restantes, 7 apresentaram 2 espécies e 27, 1 única espécie.

Entre as espécies mais importantes, podem ser citadas as 20 principais, por ordem do Valor de Importância (VI), as quais perfazem 10,75% do total, representando 54,43% da Densidade Relativa, 23,58% da Freqüência Relativa, 48,53% da Dominância Relativa (área basal), 42,18% do Valor de Importância e 51,48% do Valor de Cobertura total da floresta. As 166 espécies restantes (89,25% das espécies), incluindo as exóticas encontradas, mais as não identificadas e cipós representam o restante dos valores. As referidas espécies são: *Euterpe edulis*, *Alchornea triplinervia*, *Cabralea canjerana*, *Casearia sylvestris*, *Guapira opposita*, *Alsophila* sp., *Tetrorchidium rubrivenium*, *Sebastiania commersoniana*, *Calyptanthus concinna*, *Nectandra megapotamica*, *Tibouchina sellowiana*, *Cedrela fissilis*, *Meliosma sellowii*, *Cupania vernalis*, *Piptocarpha tomentosa*, *Cinnamomum glaziovii*, *Mysine umbellata*, *Nectandra lanceolata* e *Gymnathes concolor*.

c) Floresta Ombrófila Mista

A Floresta Ombrófila Mista, considerando-se os estágios iniciais, médios e avançados de sucessão, ocupa uma área de 9.195,65 km² (919.565 ha), o que representa 3,25% da superfície do Estado e 18,64% da área total coberta com florestas naturais (RIO GRANDE DO SUL, 2001).

Quanto à composição florística, foram encontradas 246 espécies pertencentes a 58 famílias botânicas, entre os indivíduos com CAP ≥ 30 cm, além de 4 árvores não identificadas, 36 árvores mortas, 5 cipós não identificados e de alguns indivíduos de espécies exóticas, tais como: *Citrus* sp., *Tecoma stans*, *Eriobotrya japonica*, *Morus nigra*, *Hovenia dulcis*, *Pinus* sp. e *Sequoia sempervirens*, todas com 1 indivíduo cada.

As famílias Myrtaceae, Fabaceae e Lauraceae foram as mais representativas da Floresta Ombrófila Mista, com 46, 24 e 18 espécies, respectivamente, seguidas de Asteraceae, com 10 espécies; Salicaceae, Rutaceae, Sapindaceae e Solanaceae, com 8 espécies; Bignoniaceae e Euphorbiaceae, com 7 espécies; Aquifoliaceae, Myrsinaceae e Verbenaceae, com 6 espécies; Celastraceae, com 5 espécies; Anacardiaceae, Annonaceae, Meliaceae, Moraceae e Sapotaceae, com 4 espécies; Boraginaceae, Monimiaceae, Rubiaceae, Symplocaceae e Ulmaceae, com 3 espécies. Das 32 famílias restantes, 13 apresentaram 2 espécies e 19 apresentaram 1 espécie apenas.

As espécies mais características e importantes da Floresta Ombrófila Mista estão relacionadas a seguir, por ordem do Valor de Importância (VI). Essas espécies são as mais abundantes, dominantes e freqüentes da floresta, sendo as mais representativas da associação. São elas: *Araucaria angustifolia*, *Matayba elaeagnoides*, *Mortas*, *Nectandra megapotamica*, *Cupania vernalis*, *Sebastiania commersoniana*, *Luehea divaricata*, *Dicksonia sellowiana*, *Ocotea puberula*, *Ocotea pulchella*, *Lithraea brasiliensis*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Cryptocarya aschersoniana*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Ilex brevicuspis*, *Nectandra lanceolata*, *Allophylus edulis*, *Machaerium paraguariense*, *Myrocarpus frondosus* e *Prunus myrtifolia*.

3.1.2 Região 2 – Depressão Central

3.1.2.1 Localização

O estudo foi desenvolvido em áreas com plantios de *Pinus elliottii* Engelm., fragmento de Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração e campo natural roçado e pastejado, localizados no município de Cachoeira do Sul, RS, em área pertencente à Empresa Todesflor Ltda. O município de Cachoeira do Sul localiza-se na região denominada Depressão Central do Rio Grande do Sul, na microrregião do Vale do Jacuí (Figura 2). As áreas onde foram realizadas as coletas de amostras apresentavam altitude média de 210 m.

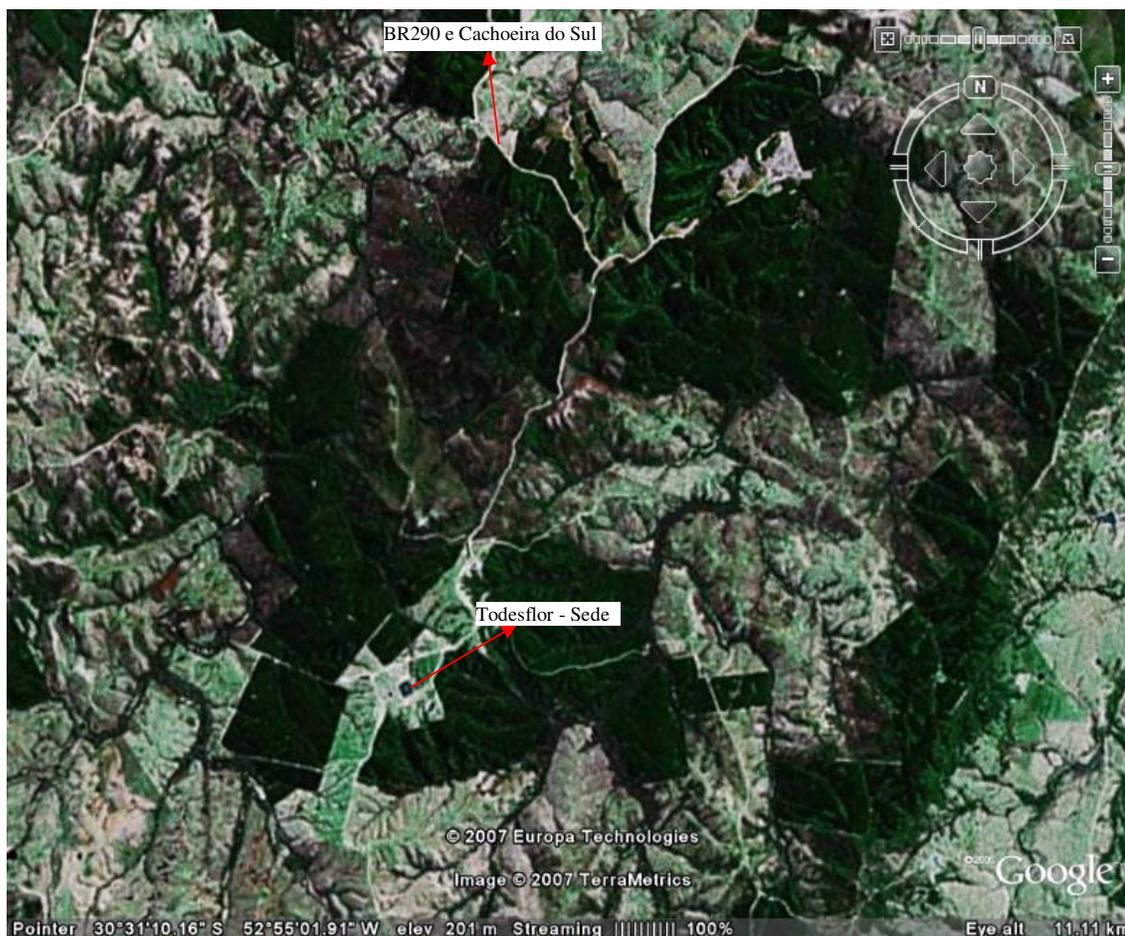


FIGURA 2: Localização da sede da empresa Todesflor Ltda. e das florestas de *Pinus elliottii* na região de entorno à sede. (30°32'27,5''S; 52°56'10,2''W). Cachoeira do Sul, RS, 2007.

3.1.2.2 Clima

O clima dominante da região, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo Cfa, subtropical úmido (MORENO, 1961). A temperatura média anual é de 19,2°C. A média das mínimas fica entre -3°C e 18°C e a média das máximas é superior a 22°C, com uma precipitação média anual entre 1500 e 1600 mm, tendo-se o mês mais chuvoso em junho e o menos chuvoso em dezembro.

Ocorrem, em média, 22 geadas por ano. Os ventos predominantes sopram de sudoeste e leste. A altitude regional varia de 100 a 500 m, com formação de vales abertos.

3.1.2.3 Solos

O solo da região é originado de rochas sedimentares, pertence à Unidade de Mapeamento Alto das Canas, sendo classificado como Argissolo Vermelho distrófico latossólico. São solos que variam de profundos a muito profundos, bem drenados, com horizonte B textural e feições latossólicas. Esses solos apresentam baixa fertilidade natural, sendo ácidos, com saturação de alumínio alta e também de alta suscetibilidade à erosão e degradação. Podem ser usados com culturas anuais e campo nativo, preferencialmente com plantio direto e em rotação de culturas com plantas protetoras e recuperadoras do solo durante o inverno (STRECK et al., 2002).

De acordo com Brasil (1973), os teores médios de carbono nesses solos, nas camadas superficiais (0-40; 40-70 cm), giram em torno de 10,0 e 9,1 g kg⁻¹, respectivamente. Para o N total, os teores ficam em 1,0 e 0,8 g kg⁻¹, respectivamente, para as mesmas profundidades.

3.1.2.4 Vegetação

A região apresenta-se peculiarmente coberta por vegetação original de campo natural e Floresta Estacional Decidual.

Os campos limpos da Depressão Central apresentam-se como uma vegetação rasteira de Poaceae, Verbenaceae e Asteraceae, que não passa de meio metro de altura, formando-se sobre coxilhas e nos picos mais elevados em áreas pedregosas também cobertas por líquens e bromeliáceas dos gêneros *Vriesia* e

Dyckia. Os campos sujos são campos cobertos basicamente por Asteráceas do gênero *Baccharis* sp. e touceiras de capim alto (Poaceae), desenvolvendo-se preferencialmente em porções muito planas do terreno ou nas depressões, onde o solo é mais profundo e a umidade é mais abundante (Rambo, 2000).

De acordo com Porto (2002), esses campos, em sua fisionomia e composição florística, não diferem muito dos padrões gerais, são campos sujos, às vezes limpos ou úmidos e paleáceos. Ocorre grande número de gramíneas estoloníferas e arbustos dos gêneros *Baccharis*, *Vernonia* e várias espécies de gravatá (*Eryngium* spp.). Espécies comumente encontradas são *Paspalum notatum*, *P. plicatum*, *P. urvillei*, *P. dilatatum*, *Axonopus compressus*, *Andropogum lateralis*, *Bothriochloa saccaroides*, *Aristida* spp., *Desmodium incanum*, *D. barbatum*, *Tripholium polymorphum*, *Stylosanthes* spp.

Em relação à Floresta Estacional Decidual, o trabalho de Araujo et al. (2004) realizado em área próxima à sede do município de Cachoeira do Sul, relata que a família mais representativa na área estudada foi Myrtaceae, com 11 espécies, seguida de Rubiaceae e Fabaceae (4 espécies), Euphorbiaceae, Salicaceae, Sapindaceae e Sapotaceae (3 espécies), Boraginaceae (2 espécies) e outras 14 famílias com 01 espécie apenas.

As espécies mais comumente encontradas na região fitogeográfica por Silva et al. (1992), Nascimento et al. (2000) e Araujo et al. (2000), também observadas na floresta ripária, são *Allophylus edulis*, *Luehea divaricata*, *Cupania vernalis*, *Matayba elaeagnoides*, *Myrocarpus frondosus*, *Casearia sylvestris*, *Trichilia elegans* e *Gymnanthes concolor*. A composição florística do fragmento estudado apresentou espécies higrófitas deciduais, adaptadas ao ambiente aluvial da região, como *Luehea divaricata*, *Vitex megapotamica*, *Inga vera*, *Ruprechtia laxiflora* e *Sebastiania commersoniana* (IBGE, 1992).

3.2 Metodologia

3.2.1 Seleção das áreas amostrais

A seleção das áreas amostrais observou primeiramente o critério de busca das áreas com maior tempo de uso com cultivo de Pinus. Posteriormente a isso, usou-se o critério de divisão das áreas amostrais em função das condições de

manejo a que os diversos talhões foram submetidos. Os tratamentos estudados na Região dos Campos de Cima da Serra (Cambará do Sul) e na Depressão Central (Cachoeira do Sul) estão resumidos na Tabela 1 e foram detalhados na seqüência. Em nenhum dos tratamentos ocorreu a aplicação de adubação no momento do plantio ou em cobertura. O preparo do solo em todos os povoamentos da região dos Campos de Cima da Serra foi realizado através de marcação e coroamento (“espelho”, com a limpeza manual de uma pequena área, cerca de 0,5 m², onde é plantada a muda ao centro dessa área). Na Depressão Central, o preparo do solo era realizado com marcação e coveamento, manualmente, de forma muito semelhante ao realizado nos Campos de Cima da Serra.

Visando-se evitar efeitos de bordadura nos resultados do estudo, todas as amostras coletadas observaram uma distância mínima de 10 metros entre o início do povoamento estudado e ponto de início da aleatorização das coletas. As mini-trincheiras foram instaladas de forma aleatória, visando abranger toda a extensão do talhão em estudo, os quais apresentavam áreas médias entre 15 e 20 ha cada.

TABELA 01 - Tratamentos estudados na avaliação do carbono orgânico do solo, em áreas de cultivo de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* em duas regiões do RS. 2007.

Solo / Local	Vegetação	Condição / Tratamentos	Prof. (cm)	
Cambissolo Húmico alumínico (Cambará do Sul)	Floresta Ombrófila	Testemunha (FOM)		
	Mista		Serapilheira	
	Campo nativo	Testemunha (CNQA)	0 – 10	
	<i>Pinus taeda</i> *		Com queima de resíduos (P-BQ-CNQ)	10 – 20
			Com remoção de resíduos (P-BR-CNQ)	20 – 40
		Com enleiramento de resíduos (P-BE-FNQ)	40 – 60	
		Com queima de resíduos (P-BQ-FNQ)		
Argissolo Vermelho distrófico (Cachoeira do Sul)	Floresta Estacional	Testemunha (FED)		
	Decidual		Serapilheira	
	Campo nativo	Testemunha (CN)	0 – 10	
	<i>Pinus elliottii</i> **		Idade: 20 anos – 3 desbastes (PE20)	10 – 20
			Idade: 24 anos – 3 desbastes (PE24)	20 – 40
		Idade: 27 anos – 3 desbastes (PE27A)	40 – 60	
		Idade: 27 anos – 3 desbastes (PE27B)		

* Em Cambará do Sul, os tratamentos P-BQ-CNQ e P-BR-CNQ foram instalados em área original de campo natural e os tratamentos P-BE-FNQ e P-BQ-FNQ em área original de floresta nativa;

** Todas as áreas de plantio de *Pinus elliottii* na região de Cachoeira do Sul são manejadas com a manutenção dos resíduos dos desbastes sobre o solo, em área original de campo nativo, estando todas em primeira rotação.

a) Campos de Cima da Serra – CNQA e FOM

Como testemunhas de ambas as situações, foram avaliadas áreas, seguindo a mesma metodologia aplicada aos plantios de *Pinus taeda*, onde ocorre campo natural sob queima periódica e utilização como pastagem para bovinos e bubalinos (CNQA), a qual é prática secular na região dos Campos de Cima da Serra. Nessa área, a carga animal usada é variável, porém, sendo geralmente superior a 1 animal/ha. A outra testemunha foi uma floresta nativa da região (fragmento de Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração (Resolução CONAMA 33/94), denominada de FOM, onde também foi verificada a presença de pastejo bovino, uma vez que a floresta nativa em questão é usada como área de pastejo alternativo, principalmente no período de inverno, quando a vegetação do campo fica seca em função das geadas.

b) Campos de Cima da Serra – P-BQ-CNQ

O tratamento denominado P-BQ-CNQ refere-se a um povoamento de *Pinus taeda* em segunda rotação, plantado com mudas de raiz nua e saco plástico, onde o solo foi preparado através de queima, marcação e coroamento (espelho). Nesse tratamento, o plantio atual se encontrava com 12,5 anos de idade no momento da coleta dos dados, tendo sido plantado em espaçamento 3 x 2 m.

A área original é de campo nativo manejado tradicionalmente, com queima periódica, geralmente anual, e pastejo permanente, com maior lotação de animais no verão e menor no inverno.

Nessa área, a biomassa de resíduos da colheita da primeira rotação foi queimada. A primeira rotação foi cortada com 18 anos de idade, tendo sofrido 3 desbastes e nenhuma desrama. A segunda rotação já sofreu duas desramas, aos 4 e aos 7 anos e um desbaste aos 10 anos de idade. A área alcança um tempo total de cultivo com *Pinus* de cerca 30,5 anos.

c) Campos de Cima da Serra – P-BR-CNQ

O Tratamento P-BR-CNQ foi alocado em um povoamento de *Pinus taeda* com duas rotações terminadas, onde os plantios haviam sido feitos com mudas em raiz nua e de saco plástico e o solo preparado com queima (1ª rotação) e marcação e coroamento (2ª rotação). O espaçamento de plantio foi de 2,5 x 1,6 m nas duas

rotações. No momento da coleta das amostras, ainda não havia ocorrido o novo plantio da terceira rotação.

A área era originalmente de campo nativo manejado tradicionalmente (queima anual e pastejo – mesmo manejo de P-BQ-CNQ), com os resíduos da 1ª e 2ª colheitas retirados e picados para serem usados como energia nos processos industriais da empresa. O tempo total de cultivo de *Pinus* nessa área é de aproximadamente 36 anos, equivalendo a duas rotações de 18 anos cada. A primeira rotação não sofreu desramas e sim três desbastes. A segunda rotação da área sofreu uma desrama e três desbastes.

d) Campos de Cima da Serra – P-BE-FNQ

O Tratamento P-BE-FNQ foi instalado em um plantio de *Pinus taeda* em 2ª rotação, o qual se encontrava com 7,5 anos de idade no momento da coleta dos dados, em área original de floresta nativa que foi cortada e queimada. Na primeira rotação, o plantio foi realizado com mudas em saco plástico, em espaçamento 2,5 x 1,6 m. Na segunda rotação, o plantio foi realizado com mudas produzidas em tubetes, em espaçamento 3 x 2 m.

Nessa área, o resíduo da primeira colheita de *Pinus taeda* foi enleirado, ou seja, mantido na área, em faixas equidistantes de cerca de 20 metros. Essa área apresenta um tempo total de cultivo de *Pinus* de, aproximadamente, 25,5 anos. Nessa área, a aleatorização das coletas de amostras não considerou as áreas sob as leiras, em função da dificuldade da realização das coletas nesse caso, coletando-se amostras apenas nos espaços entre as leiras.

e) Campos de Cima da Serra – P-BQ-FNQ

Para o Tratamento P-BQ-FNQ, usou-se um plantio de *Pinus taeda* em 2ª rotação, que se encontrava com 9,5 anos de idade, na coleta das amostras. A área era, originalmente, floresta nativa, que foi cortada e queimada, e os resíduos da 1ª rotação de *Pinus taeda* também tinham sido queimados. Essa área apresenta um tempo total aproximado de cultivo com *Pinus* de 27,5 anos.

A primeira rotação foi implantada com mudas em raiz nua, em espaçamento 2,5 x 1,6 m e a segunda, em raiz nua e de saco plástico, em espaçamento 3 x 2 m. Na primeira rotação, não foram realizadas desramas, somente três desbastes. Na segunda rotação, até o momento, foi realizada uma desrama e um desbaste.

e) Depressão Central – CN e FED

As testemunhas avaliadas na região da Depressão Central foram constituídas de: uma área de campo nativo (CN) submetido à queima tradicional durante muitos anos e que deixou de ser queimado nos últimos 15 anos, quando passou a ser roçado com roçadeira tratorizada, duas vezes ao ano (Coordenadas: 22J 0313804 – UTM 6618887) e uma área de floresta nativa (Floresta Estacional Decidual (FED) em estágio avançado de regeneração) (Coordenadas: 22J 0315091 – UTM 6621157).

g) Depressão Central – PE20

Em função do manejo de resíduos de colheita florestal na empresa ser realizado somente de uma forma, ou seja, com a deposição regular dos mesmos sobre o solo, após o desbaste, e que não existem áreas em segunda rotação da espécie, na região, optou-se por distribuir os tratamentos de *Pinus elliottii* em função da idade do povoamento em primeira rotação.

Dessa forma, o Tratamento PE20 foi alocado em um plantio de *Pinus elliottii* em primeira rotação, em espaçamento original de 2,5 m x 2,5 m, atualmente com 20 anos de idade (plantio em 1987), que sofreu intervenções de desbastes nos anos de 1997, 2002 e 2006. Os desbastes realizados na área foram do tipo sistemático na quinta linha e seletivo por baixo nas demais linhas (1997) e totalmente seletivo por baixo nas segunda e terceira ocasiões. Está localizado nas coordenadas 22J 0315302 – UTM 6623945.

h) Depressão Central – PE24

O Tratamento PE24 foi instalado em um plantio de *Pinus elliottii* em primeira rotação, em espaçamento original de 1,7 m x 2,5 m, atualmente com 24 anos de idade (plantio em 1983), a qual sofreu intervenções de desbastes nos anos de 1993, 1997 e 2002. Os desbastes realizados na área foram do tipo sistemático na décima linha e seletivo por baixo nas demais linhas (1993) e totalmente seletivo por baixo nas segunda e terceira ocasiões. Está localizado nas coordenadas 22J 0317800 – UTM 6626665.

i) Depressão Central – PE27A

O Tratamento PE27A foi instalado em um plantio de *Pinus elliottii* em primeira rotação, em espaçamento original de 3,0 m x 2,0 m, atualmente com 27 anos de idade (plantio em 1980), a qual sofreu intervenções de desbastes nos anos de 1991, 1996 e 2000. Os desbastes realizados na área foram do tipo sistemático na décima linha e seletivo por baixo nas demais linhas (1991) e totalmente seletivo por baixo nas segunda e terceira ocasiões. Está localizado nas coordenadas 22J 0316979 – UTM 6624733.

j) Depressão Central – PE27B

Similar ao anterior, o Tratamento PE27B foi instalado em um plantio de *Pinus elliottii* em primeira rotação, em espaçamento original de 3,0 m x 2,0 m, atualmente com 27 anos de idade (plantio em 1980), a qual sofreu intervenções de desbastes nos anos de 1991, 1996 e 1999. Os desbastes realizados na área foram do tipo sistemático na décima linha e seletivo por baixo nas demais linhas (1991) e totalmente seletivo por baixo nas segunda e terceira ocasiões. Está localizado nas coordenadas 22J 0316319 – UTM 6624142.

3.2.2 Coleta de Amostras e Dados

Nas áreas escolhidas para o estudo, de forma aleatória e independente da posição em relação ao alinhamento do plantio, foram abertas seis (06) mini-trincheiras, onde em cada uma delas, o solo foi coletado nas profundidades 0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm e 40-60 cm. Em cada uma dessas quatro profundidades, foram coletadas amostras de solo para a realização de análise química e física.

As amostras para análise química foram coletadas com o uso de espátula e acondicionadas em saco plástico devidamente identificado com os dados da área (tratamento), mini-trincheira (parcela) e profundidade. De forma a aumentar a representatividade das análises químicas, além das mini-trincheiras foram coletadas mais 06 amostras, com uso de trado holandês, nas mesmas profundidades, também aleatoriamente distribuídas nas áreas dos tratamentos. Dessa forma, o número total de repetições por tratamento foi de 12. Nas mesmas profundidades, nas 6 parcelas iniciais, foram coletadas amostras para a determinação da densidade do solo, com uso de anel de Kopecky (EMBRAPA, 1997).

Em cada tratamento foram também coletadas 12 amostras de serapilheira acumulada sobre o solo, de forma a quantificar o potencial desse material em acumular e ser um dos principais fornecedores de carbono, além de vários outros nutrientes, ao solo. Essa coleta foi realizada com o uso de moldura de ferro quadrada com 25 cm de lado, com amostragem aleatória em cada tratamento.

3.2.3 Análise das Amostras

As amostras de solo e serapilheira coletadas nas áreas escolhidas, nas diferentes profundidades, foram encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais (CCR-UFSM), onde foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 105°C (solo) e 75°C (serapilheira) por 72 horas, sendo então moídas, a serapilheira em moinho tipo Wiley, com peneira de 30 *mesh*, e as amostras de solo em moinho de solo tipo martelo (TECNAL – TE330), com peneira 2 mm, sendo então embaladas para envio ao Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre da Universidade Albert Ludwigs de Freiburg/Alemanha.

As análises químicas foram efetuadas quanto aos teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), por via seca, em aparelho CNS-Analysator Carlo Erba NA 1500 Series 2. Nas amostras de solo coletadas, também foi determinado o pH, em água 1:1.

O fracionamento da matéria orgânica do solo (MOS) para separação da fração particulada (COP) da associada aos minerais (CAM) foi efetuado mediante separação física nas amostras de solos coletadas em todos os tratamentos. Por não ter sido encontrada na Alemanha, a peneira de 0,053 mm (classificação vigente nos EUA), optou-se pelo tamanho mais próximo encontrado, de 0,063 mm, o qual traz resultados estatisticamente muito semelhantes.

Em frascos snap-cap foram pesados 20 g de solo e adicionados 60 ml de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹). Essa suspensão foi agitada por 15 horas em agitador horizontal. Esse procedimento visou à destruição dos agregados do solo, liberando a matéria orgânica associada, principalmente, à fração argila.

Posteriormente, com o auxílio de um leve jato d'água, o material foi passado em peneira de 0,063 mm (63 µm) (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992), ocorrendo, dessa forma, a separação das frações areia mais material orgânico das frações silte

e argila. O material que ficou retido na peneira (fração particulada, grosseira) foi transferido para placas de petri devidamente identificadas, que já haviam sido previamente pesadas.

A fração associada aos minerais (que passou pela peneira de 0,063 mm) foi armazenada em Becker plástico de 5 litros e posteriormente homogeneizada, retirando-se uma alíquota de 100 ml, que foi transferida para recipientes de vidro com capacidade de 100 ml.

As frações obtidas (maior e menor que 63 μm) foram então secas em estufas de circulação e renovação de ar a 105°C até peso constante. Posteriormente, foram moídas em gral de porcelana para a realização das análises do teor de carbono orgânico e nitrogênio total, no mesmo aparelho descrito anteriormente. As Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 ilustram os principais passos do procedimento de fracionamento e análise das amostras em laboratório.



FIGURA 3 - Amostra de solo e sua lavagem, após agitação por 15 h, com jato d'água leve, para separação das frações em peneira de 0,063 mm. Freiburg, 2007.



FIGURA 4 - Fração associada à argila/silte no becker de 5 litros e, após, transferida para frascos de vidro visando a secagem em estufa. Freiburg, 2007.



FIGURA 5 - Fração particulada (COP) retida na peneira de 0,063 mm e, posteriormente, transferida para placas de petry. Freiburg, 2007.



FIGURA 6 - Moagem de amostra em gral para posterior análise de carbono e nitrogênio. Freiburg, 2007.



FIGURA 7 - Montagem das cápsulas e análise dos teores de carbono e nitrogênio em aparelho CNS, via digestão seca. Freiburg, 2007.

As amostras coletadas com o uso de anel de copecky, para a determinação da densidade do solo, foram analisadas na UFSM, no Laboratório de Ecologia Florestal, onde foram postas a secar em estufa de circulação e renovação de ar a 45°C até atingirem peso constante. Após isso, foram pesadas, em balança digital, o conjunto solo + anel + lata. Após essa pesagem, o solo foi retirado do anel. O

conjunto anel + lata foi então lavado e posto novamente a secar. Esse foi novamente pesado. Do peso do primeiro conjunto foi subtraído o do segundo, obtendo-se, então, o peso de solo seco. Este peso de solo seco (g), dividido pelo volume do anel (cm^3), forneceu a densidade do solo.

3.2.4 Análise dos dados

Todos os dados foram tabulados e analisados quanto à análise de variância e teste de comparação de médias ao nível de 5% de probabilidade de erro. Todas as médias obtidas foram relacionadas com o histórico de uso da área, visando determinar a influência desse aspecto no estoque de carbono e nitrogênio na serapilheira e no solo.

A densidade do solo também serviu de parâmetro para o cálculo do estoque de carbono orgânico total na fração total do solo e também na particulada e na associada aos minerais, em cada camada, com base no respectivo teor.

As análises de variância e diferenças entre médias, nas suas diferentes frações, das variações ocorridas em função dos diferentes históricos de uso, nas diferentes áreas, foi realizada com o uso do software SPSS v.8.0, em delineamento inteiramente casualizado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Região 1 – Campos de Cima da Serra - RS

4.1.1 Carbono orgânico e Nitrogênio total na serapilheira acumulada sobre o solo

O estoque de serapilheira acumulada sobre o solo consta na Tabela 2, para os diferentes tratamentos estudados. O P-BR-CNQ apresentou o maior valor de serapilheira acumulada sobre o solo, sendo seguido pelos tratamentos P-BQ-CNQ e P-BQ-FNQ, com valores estatisticamente iguais entre si, posteriormente pelo P-BE-FNQ, que não diferiu dos dois anteriores e nem dos dois últimos e, por último, pelo CNQA e FOM, com os menores valores, estatisticamente inferiores.

TABELA 2 - Quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo (Mg ha^{-1}) e a variação apresentada, nos diferentes tratamentos. Cambará do Sul, RS. 2007.

Tratamento	Serapilheira acumulada		CV%
	(Mg ha^{-1})		
CNQA*	5,99	c**	22,86
FOM	5,44	c	40,51
P-BQ-CNQ	14,39	b	29,05
P-BR-CNQ	33,57	a	30,47
P-BE-FNQ	8,61	bc	23,99
P-BQ-FNQ	12,22	b	42,97

* No CNQA foi coletada a biomassa acima do solo e não somente a serapilheira.

** Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

CNQA: campo nativo queimado/pastejado anualmente; FOM: Floresta Ombrófila Mista;

P-BQ-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e campo nativo original queimado;

P-BR-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª e 2ª rotações retirada e campo nativo queimado;

P-BE-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação enleirada e floresta nativa original queimada;

P-BQ-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e floresta nativa original queimada.

A grande quantidade de material acumulado sobre o solo no P-BR-CNQ é devida a essa área ter sido a única a ser avaliada poucos meses após a colheita da segunda rotação de *Pinus taeda* e antes da ocorrência do novo plantio. Dessa forma, o material orgânico acumulado sobre o solo não era formado somente por serapilheira caída naturalmente das árvores, mas também por resíduos de colheita que restaram após a retirada do material de maiores dimensões para uso como

energia, atividade que ocorreu após a colheita das duas rotações já ocorridas na área, com o recolhimento de todo o material lenhoso passível de uso como energia.

O material orgânico restante sobre o solo da área era formado, basicamente, por acículas, galhos finos com até cerca de 3 cm de diâmetro, com base em observações visuais, serragem, entre outros resíduos que restaram após a colheita e a retirada dos resíduos de maiores dimensões. Isso demonstra que, apesar da retirada de material lenhoso para energia, a quantidade de resíduos finos que se juntam à serapilheira é considerável, participando ativamente no processo de devolução de carbono ao solo.

O P-BQ-CNQ também acumulou quantidade considerável de serapilheira sobre o solo. Essa área apresenta um povoamento em segunda rotação, com idade de 12,5 anos no momento da coleta de dados. Apesar de a área apresentar uma floresta bem formada, com estrutura fechada, as linhas de desbaste já ocorrido e o fato da existência de fontes de propágulo de espécies herbáceas na proximidade, como nas áreas de banhado em meio à floresta, onde não ocorre o plantio de Pinus, ainda ocorrem indivíduos dessas espécies no sub-bosque do povoamento. A área também conta com o pastoreio e trânsito bovino, o que pode influenciar a camada de serapilheira acumulada, pelo pisoteio e pelo esterco depositado, fato que pode condicionar a serapilheira acumulada a ser menor do que seria sem essa influência, uma vez que o pisoteio causa certa mistura forçada do material com o solo e o esterco incrementa N no sistema, podendo baixar a relação C/N e melhorar as condições para uma mais rápida decomposição.

Deve-se considerar o fato de que os resíduos da primeira rotação foram queimados, assim como ocorria com o campo natural, anteriormente, o qual era queimado anualmente. A hipótese mais provável é a de que isso pode ter causado, na rotação atual, um menor acúmulo de serapilheira, uma vez que o material queimado anteriormente, ao menos o de mais lenta decomposição, poderia ainda estar sendo contabilizado no somatório atual. Por outro lado, a grande mineralização de nutrientes ocorrida por ocasião da queima pode ter causado, por um lado, maior crescimento das árvores da rotação atual (com conseqüente maior produção de serapilheira) como também devem ter ocorrido perdas em função da lixiviação pelas chuvas dos nutrientes disponibilizados na superfície do solo na ocasião.

Um entendimento na mesma linha de pensamento poderia ser discutido para o tratamento P-BQ-FNQ, área em segunda rotação, com 9,5 anos de idade. A área

também sofreu queima da floresta nativa original e dos resíduos da primeira rotação de *Pinus taeda*. Apesar da área não contar com pastoreio bovino, por ser originalmente formada por floresta natural, apresenta uma ampla regeneração de espécies florestais nativas no sub-bosque, o que também pode causar uma maior decomposição do material, em função das folhosas terem menor teor de carbono e maior de N, sendo capazes de diminuir a relação C/N da serapilheira (Tabela 3), além de aumentarem a diversidade do material em decomposição, que fica mais atrativo à fauna decompositora.

No tratamento P-BE-FNQ, não ocorreu a queima dos resíduos da primeira rotação, mas os mesmos foram enleirados na área. A menor idade da segunda rotação (5,5 anos), o enleiramento dos resíduos da primeira rotação, a ocorrência de um sub-bosque amplo e o pisoteio bovino são fatores que podem explicar o fato de esse tratamento ter apresentado a menor quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo, entre as áreas com plantio de *Pinus taeda*.

No campo nativo queimado anualmente (CNQA), a biomassa acima do solo alcançou quase $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de material seco. Esse valor esteve acima somente da quantidade de serapilheira acumulada na FOM. Apesar de ter sido coletada toda a biomassa acima do solo, a quantidade acumulada no campo não alcançou os valores de serapilheira das áreas com *Pinus*, florestas que apresentam significativa produção e acúmulo de serapilheira.

Nessa área, a quantidade de biomassa seca acima do solo encontrada foi intermediária à relatada por outros trabalhos de pesquisa. Como exemplo, Bortoli et al. (2006) estudando a influência de diferentes condições de adubação no acúmulo de biomassa acima do solo em campo nativo na região da Depressão Central do RS, relatando que as áreas adubadas (600 kg ha^{-1} de NPK 5-20-20 e 3000 kg ha^{-1} de calcário calcítico) acumularam em torno de $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, contra cerca de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, na área não adubada.

Em trabalho realizado por Tissot et al. (1999), a quantidade de massa seca produzida por uma área de campo nativo na Depressão Central do RS foi de $9,48 \text{ Mg ha}^{-1}$, porém, sob regime de corte total da biomassa a cada 45 dias, o que influenciou essa maior produção.

Mesmo assim, apesar do fato de a área de campo em estudo ser queimada anualmente e pastoreada permanentemente, ela ainda apresenta uma quantidade de biomassa acumulada considerada média, mostrando que o solo da área

apresenta boa capacidade, juntamente com os demais fatores que influenciam, de suprir os danos causados pelo uso do fogo e partejo, em relação ao suprimento de nutrientes para a reposição de biomassa.

Como respaldo a essa afirmação, Boldo et al. (2007) encontraram uma biomassa acumulada de 5,0 e 7,0 Mg ha⁻¹ em campo natural sem queima e com pastoreio e em campo natural melhorado, respectivamente, na região de São Francisco de Paula, RS.

O estudo de Moojen (1991) relata que a produção anual de biomassa nas pastagens nativas não melhoradas do RS encontra-se entre 2,5 a 6,0 Mg ha⁻¹. Valores maiores a esses são descritos para pastagens não queimadas e não roçadas (9,6 Mg ha⁻¹), semelhante para áreas de pastagens melhoradas (9,5 e 9,1 Mg ha⁻¹) e maiores do que áreas sem queima e com roçada (7,0 Mg ha⁻¹) (HERINGER; JACQUES, 2002).

A FOM apresentou a menor quantidade de serapilheira acumulada, com 5,44 Mg ha⁻¹. Apesar de as condições de decomposição da serapilheira em florestas nativas serem relativamente melhores, acredita-se que essa menor quantidade acumulada de serapilheira sobre o solo seja também consequência do pastoreio bovino, que traz consigo um maior grau de mistura da serapilheira com o solo, devido ao pisoteio, e também pelos animais introduzirem sementes de gramíneas na floresta, junto com o esterco que, em alguns pontos da floresta, onde ocorre penetração de luz até o solo, germinam e crescem, em detrimento da camada de serapilheira, que fica dispersa nestes locais.

Em comparação com outros estudos quanto ao acúmulo de serapilheira sobre o solo em florestas nativas com araucária, pode-se entender que a quantidade encontrada é realmente pequena. Como exemplo disso, em Floresta Ombrófila Mista primária, pouco perturbada, em São Francisco de Paula, RS, Backes et al. (2000) relataram um acúmulo de 16,8 Mg ha⁻¹ de serapilheira sobre o solo. Em um plantio de *Araucaria angustifolia* com 50 anos de idade, com sub-bosque de folhosas, na mesma fazenda, os autores relataram um acúmulo de 14,9 Mg ha⁻¹.

No estudo de Floss et al. (1999), em duas áreas distintas de Floresta Ombrófila Mista em Caçador, SC, uma com predominância de *Araucaria angustifolia* (Tipo 1) e outra com outras espécies (Tipo 2) no estrato superior, relataram-se quantidades de serapilheira acumulada de 9,7 Mg ha⁻¹, no Tipo 1 e 7,5 Mg ha⁻¹, no Tipo 2.

Watzlawick et al. (2002), estudando o acúmulo de serapilheira sobre o solo, em diferentes estágios sucessionais de Floresta Ombrófila Mista em General Carneiro, PR, relataram maior acúmulo no estágio médio (8,6 Mg ha⁻¹), do que no inicial (7,9 Mg ha⁻¹) e no avançado (7,6 Mg ha⁻¹).

Segundo os autores citados anteriormente quanto a esse aspecto, nas áreas onde ocorre o predomínio de *Araucaria angustifolia* no estrato superior, a quantidade de serapilheira acumulada é geralmente maior. Isso ajuda a explicar o menor acúmulo na área de floresta nativa deste estudo, onde todos os maiores indivíduos da espécie citada foram extraídos no passado, perdendo lugar na predominância para outras espécies, geralmente folhosas, com serapilheira de mais rápida decomposição.

Os teores de carbono e nitrogênio na serapilheira acumulada sobre o solo, bem como a sua relação C/N, são apresentados na Tabela 3. A serapilheira acumulada no tratamento P-BR-CNQ apresentou o maior teor de carbono do que o CNQA e P-BE-FNQ, porém esse teor não diferiu estatisticamente dos teores nos tratamentos P-BQ-FNQ, P-BQ-CNQ e FOM.

Em um plantio de *Pinus elliottii*, com 36 anos de idade, em Santa Maria, RS, o teor de carbono orgânico na serapilheira foi de 441,9 g kg⁻¹, equivalendo a um acúmulo de carbono igual a 7,6 Mg ha⁻¹ (SCHUMACHER et al., 2004a).

Em uma área de *Pinus taeda* com 5 anos de idade, em Cambará do Sul, RS, Balbinot et al. (2000) relataram teor de carbono orgânico na serapilheira igual a 442,5 g kg⁻¹, muito semelhante ao teor encontrado por Schumacher et al. (2004a), mostrando que, independente da região de plantio ou da espécie, a serapilheira de *Pinus* sp. apresenta altos teores de carbono orgânico em sua constituição.

Em relação a estágios sucessionais de Floresta Ombrófila Mista, os teores de carbono na serapilheira no presente estudo são significativamente maiores. Watzlawick et al. (2002) relataram teores iguais a 378,5; 384,2 e 381,6 g kg⁻¹, na serapilheira de estágio inicial, médio e avançado, respectivamente, em General Carneiro, PR.

TABELA 3 - Teores (\pm CV%), quantidade de Carbono (C) e Nitrogênio (N) e a relação C/N na serapilheira acumulada sobre o solo, nos tratamentos estudados. Camará do Sul, RS, 2007.

Tratamento	Teores (g kg^{-1})		Quantidade (kg ha^{-1})		Relação C/N
	C	N	C	N	
CNQA	402,3 \pm 10,1 c*	9,1 \pm 28,2 d	2407,9	54,6	44,1 a
FOM	466,6 \pm 8,5 ab	19,8 \pm 16,9 a	2537,6	107,9	23,5 c
P-BQ-CNQ	475,0 \pm 5,1 ab	11,3 \pm 15,5 bcd	6833,1	162,1	42,2 ab
P-BR-CNQ	496,6 \pm 4,8 a	10,7 \pm 15,0 cd	16674,0	360,5	46,2 a
P-BE-FNQ	454,1 \pm 6,8 b	13,0 \pm 12,5 bc	3911,0	112,0	34,9 b
P-BQ-FNQ	476,4 \pm 5,9 ab	13,5 \pm 11,8 b	5822,4	164,7	35,4 b

* Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

CNQA: campo nativo queimado/pastejado anualmente; FOM: Floresta Ombrófila Mista; P-BQ-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e campo nativo original queimado; P-BR-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª e 2ª rotações retiradas e campo nativo queimado; P-BE-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação enleirada e floresta nativa original queimada; P-BQ-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e floresta nativa original queimada.

Em área de plantio de *Araucaria angustifolia* no Sudoeste do Paraná, Capra (2001) encontrou 406,8 g kg^{-1} para o teor de carbono na serapilheira em uma área de primeiro desbaste.

Os teores de N foram superiores na serapilheira da FOM, seguidos pelos tratamentos P-BQ-FNQ e P-BE-FNQ, com valores intermediários, e pelos tratamentos P-BQ-CNQ, P-BR-CNQ e CNQA, com teores inferiores.

Tanto para o campo nativo como nas áreas com plantios de Pinus, os teores de N foram muito inferiores aos relatados por Tissot et al. (1999), igual a 16,5 g kg^{-1} , para área de campo na Depressão Central do RS.

Em plantios de *Pinus taeda* com diferentes idades (4,5; 12,5; 17,5 e 23,5 anos), todos em primeira rotação e em área original de campo natural, na região de Camará do Sul, RS, Schumacher et al. (2004b) relataram teores de N na serapilheira entre 5,75 e 8,73 g kg^{-1} , inferiores a este estudo. A área testemunha desse estudo (fragmento de floresta natural) apresentou teor igual a 12,3 g kg^{-1} .

Esses teores relativamente baixos de N na serapilheira das áreas cultivadas com *Pinus taeda* e na biomassa acima do solo no campo nativo, foram responsáveis por relações C/N mais elevadas, principalmente onde originalmente era campo nativo (P-BR-CNQ e P-BQ-CNQ).

Tal comportamento parece indicar que os maiores teores de N na serapilheira da floresta nativa, o que corresponde também no solo destas áreas, ainda influenciam os maiores teores de N na serapilheira das florestas plantadas de *Pinus taeda*, já em segunda rotação.

A relação C/N de materiais orgânicos é um fator inerente a espécie e reflete a velocidade com que a decomposição pode se processar (FERNANDES, 2006). Nesse sentido, as áreas CNQA e os plantios de Pinus em área de campo nativo (P-BQ-CNQ, P-BR-CNQ), com materiais residuais de gramíneas e de Pinus, são os que apresentam decomposição mais lenta, com relação C/N mais elevadas, estatisticamente superiores às áreas de Pinus (P-BE-FNQ e P-BQ-FNQ) originalmente florestas nativas e a própria FOM.

A quantidade de carbono acumulada na serapilheira foi aproximadamente proporcional à quantidade de massa seca acumulada. Diferenças ocorreram por conta dos menores teores na massa seca acima do solo no CNQA, que apresentou o menor teor de carbono, fazendo com que a quantidade acumulada também fosse a menor. Para os demais tratamentos, em função da pouca diferença existente nos teores de carbono, o fato determinante do estoque do elemento foi a massa seca de serapilheira acumulada.

Aspecto semelhante pode ser relatado ao acúmulo de N na serapilheira, onde o grande teor na serapilheira da FOM fez com que o estoque de N na mesma se aproximasse do estoque no tratamento P-BE-FNQ. O maior estoque de N ocorreu no P-BR-CNQ, seguido do P-BQ-FNQ, devido ao maior teor de N apresentado, e então pelo P-BQ-CNQ, P-BE-FNQ e só então pela FOM e por último o CNQA.

4.1.2 Densidade do Solo

A Tabela 4 apresenta as densidades do solo para os seis diferentes tratamentos avaliados, em quatro diferentes profundidades do solo. Comparando-se os tratamentos, na camada superficial de solo, a densidade foi superior estatisticamente no P-BE-FNQ, em relação às duas áreas testemunhas. As demais áreas com Pinus, nessa camada, não se diferenciaram das testemunhas e nem do P-BE-FNQ. Mesmo assim, em valores absolutos, as demais áreas com Pinus apresentam valores superiores às testemunhas, fato esperado, em função das atividades de implantação e manejo que ocorrem nas áreas cultivadas e pelo

crescimento do sistema radicular das árvores de Pinus, o que tende a aumentar a densidade do solo, pelo efeito da pressão de adensamento de raízes, exercida sobre o solo.

Na segunda camada de solo, o comportamento da densidade foi semelhante, ocorrendo apenas uma elevação no valor na FOM, a qual não apresentou diferenças em relação aos tratamentos com Pinus. Na terceira camada, essa situação ocorreu para o CNQA, com a FOM apresentando a menor densidade entre todos os tratamentos. Na última camada de solo, todos os valores não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

Todos os valores de densidade do solo não podem ser considerados limitantes ao crescimento das raízes, uma vez que o valor máximo encontrado, igual a 1,12, na última camada do tratamento P-BQ-CNQ é bem inferior aos limites citados por Pritchett (1990), igual a 1,75 g cm⁻³ em solos arenosos e 1,55 g cm⁻³ em solos argilosos.

TABELA 4 - Densidade do solo (g cm⁻³) nos diferentes tratamentos estudados, em quatro profundidades do solo. Cambará do Sul, RS. 2007.

Prof. (cm)	CNQA	FOM	P-BQ-CNQ	P-BR-CNQ	P-BE-FNQ	P-BQ-FNQ
0-10	0,67 *c B	0,70 a B	0,83 b AB	0,83 c AB	0,96 a A	0,82 c AB
10-20	0,76 c B	0,83 a AB	0,94 b AB	0,89 bc AB	0,98 a A	0,87 bc AB
20-40	0,91 b AB	0,81 a B	0,94 b AB	0,97 b AB	1,03 a A	0,97 ab AB
40-60	1,09 a A	0,78 a B	1,12 a A	1,07 a A	1,11 a A	1,03 a A
Média	0,86 BC	0,78 C	0,95 AB	0,94 AB	1,02 A	0,92 AB

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

CNQA: campo nativo queimado/pastejado anualmente; FOM: Floresta Ombrófila Mista;

P-BQ-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e campo nativo original queimado;

P-BR-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª e 2ª rotações retiradas e campo nativo queimado;

P-BE-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação enleirada e floresta nativa original queimada;

P-BQ-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e floresta nativa original queimada.

Os menores valores de densidade ocorreram na camada superficial, algo esperado em áreas que sofrem atividades de manejo do solo de forma pouco intensiva, ou com intervalo de alguns anos, como é o caso de áreas florestais. Em profundidade, os valores aumentam proporcionalmente, mas não chegam a atingir valores que possam ser considerados altos, até mesmo na última camada avaliada.

De acordo com Castro (1995), o aumento da densidade do solo com o aumento da profundidade é algo esperado, em função da pressão exercida pelas camadas superiores sobre as subjacentes, diminuindo a porosidade e provocando adensamento.

Em termos gerais, pode-se perceber que os menores valores de densidade do solo ocorrem no CNQA e na FOM. Nesse sentido, acredita-se que estes valores levemente superiores nas áreas com *Pinus taeda* podem ser decorrentes das atividades de manejo florestal e do adensamento do solo em função da pressão exercida pelo crescimento das raízes das árvores de Pinus. Pode-se também justificar os valores relativamente baixos de densidade em função dos altos índices de matéria orgânica deste solo, relação já amplamente conhecido na ciência do solo (KIEHL, 1978; BRADY, 1974).

Em trabalho realizado em quatro florestas de *Pinus taeda* com idades diferentes, todas em primeira rotação, em área original de campo nativo, König (2004) apresentou dados de densidade do solo que se enquadram dentro do intervalo de valores desse estudo. A autora relatou valores entre $0,64 \text{ g cm}^{-3}$ na camada 0-5 cm de uma floresta com 12,5 anos e $0,89 \text{ g cm}^{-3}$ na camada 10-20 cm de uma floresta de 4,5 anos de idade, não encontrando correspondência entre a idade da floresta e a densidade do solo.

Em um trabalho de avaliação do solo de um campo nativo que futuramente seria destinado ao plantio de *Pinus taeda*, em Cambará do Sul, RS, Schumacher et al. (1999) relataram valores variando entre $0,91$ a $0,96 \text{ g cm}^{-3}$, nos primeiros 40 cm de solo, sem a ocorrência de variação significativa com a profundidade.

Jussof (1988) afirma que árvores em plantios de *Eucalyptus grandis* tiveram o crescimento das raízes inibido quando os valores da densidade do solo superaram $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ e em *Pinus taeda*, o crescimento de raízes ficou comprometido quando a densidade ficou acima de $1,30 \text{ g cm}^{-3}$.

Em trabalho realizado visando a obtenção de padrões físico hídricos do solo em área de Argissolo Vermelho distrófico no RS, Suzuki (2008) estudou área de floresta nativa degradada, pastagem, plantio de eucalipto com 20 anos em primeira rotação e plantio de eucalipto com 4,5 anos, em segunda rotação, com a colheita da primeira rotação realizada aos 8,5 anos, relatando, em valores médios para as camadas avaliadas, que a densidade do solo foi superior na área de eucalipto em segunda rotação ($1,48 \text{ g cm}^{-3}$), sendo seguida pela área com pastagem ($1,38 \text{ g cm}^{-3}$).

³), floresta nativa degradada ($1,33 \text{ g cm}^{-3}$) e plantio de eucalipto com 20 anos em primeira rotação ($1,32 \text{ g cm}^{-3}$), apontando o efeito da colheita florestal da área em segunda rotação, como um dos fatores que influenciaram diretamente a maior densidade.

Mendes et al. (2006) relatam que padrões críticos de densidade do solo são difíceis de serem definidos, no entanto, valores em torno de 1,0; 1,1 e $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ podem ser encontrados em solos sem interferência antrópica, em solos cultivados ou sob intenso tráfego, respectivamente. Mas para uma adequada avaliação, devem-se comparar os valores obtidos nas áreas em estudo com outros valores de áreas comprovadamente não compactadas, preferencialmente com o mesmo tipo de solo e relevo.

4.1.3 pH do Solo

A Tabela 5 apresenta os dados relativos ao pH do solo nos diferentes tratamentos e nas diferentes profundidades estudadas. As variações do pH em profundidade foram ínfimas, sendo somente detectadas por teste de comparação de médias nos tratamentos oriundos de campo nativo (P-BQ-CNQ e P-BR-CNQ). Nesses tratamentos, pode-se perceber um aumento nos valores de pH com a profundidade. Nos demais tratamentos, nos povoamentos de *Pinus taeda* em área original de floresta nativa e nos tratamentos testemunha, a variação do pH em profundidade não foi passível de detecção via teste de comparação de médias.

Em relação aos diferentes tratamentos, diferenças significativas somente foram detectadas a partir da segunda camada de solo, onde o CNQA apresentou valores superiores, sendo seguido, sem diferenças, pelos valores nos tratamentos P-BQ-CNQ e P-BQ-FNQ. Valores inferiores de pH na segunda camada de solo foram diagnosticados nos tratamentos FOM, P-BR-CNQ e P-BE-FNQ. Esse mesmo comportamento do pH pode ser verificado na terceira (20-40 cm) camada de solo. A última camada também apresentou comportamento semelhante, havendo diferenças pequenas em relação ao comportamento da segunda e terceira camadas.

TABELA 5 - Valores de pH do solo nos diferentes tratamentos estudados, em quatro profundidades do solo. Cambará do Sul, RS, 2007.

Prof. (cm)	CNQA	FOM	P-BQ-CNQ	P-BR-CNQ	P-BE-FNQ	P-BQ-FNQ
0-10	4,43 *a A	4,21 a A	4,36 b A	4,17 b A	4,17 a A	4,32 a A
10-20	4,51 a A	4,25 a B	4,35 b AB	4,23 b B	4,25 a B	4,32 a AB
20-40	4,59 a A	4,30 a B	4,39 ab AB	4,30 ab B	4,34 a B	4,38 a AB
40-60	4,59 a A	4,24 a B	4,53 a A	4,41 a AB	4,38 a AB	4,56 a A
Média	4,53	4,25	4,41	4,28	4,29	4,40

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

CNQA: campo nativo queimado/pastejado anualmente; FOM: Floresta Ombrófila Mista;

P-BQ-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e campo nativo original queimado;

P-BR-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª e 2ª rotações retiradas e campo nativo queimado;

P-BE-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação enleirada e floresta nativa original queimada;

P-BQ-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e floresta nativa original queimada.

Esses valores de pH indicam, em uma análise visual, a formação de dois grupos de tratamentos, os que sofreram maior e menor número de queimadas. Podem-se agrupar os tratamentos com maior intensidade de queimadas (CNQA, P-BQ-CNQ e P-BQ-FNQ) com valores relativamente maiores de pH, e os tratamentos com menor intensidade de queimadas (FOM, não havendo informações sobre a ocorrência de queima, P-BR-CNQ e P-BE-FNQ).

Nesse último grupo, pelo fato de a queimada para a implantação de Pinus ter ocorrido somente na vegetação original, e a área já se encontrar em segunda rotação, o maior acúmulo de resíduos em processo de decomposição, pelo maior tempo de cultivo com Pinus, pode estar influenciando os menores valores de pH. No primeiro grupo, devido à queimada na vegetação original e também no resíduo da colheita da primeira rotação, maior quantidade de nutrientes pode ter sido disponibilizada nas queimadas, fazendo com que ocorresse a neutralização de parte dos íons H^+ e Al^{3+} , elevando levemente os valores de pH.

De acordo com a SBCS (2004), todos os valores de pH encontrados são considerados muito baixos (< 5,0). Esse aspecto está de acordo com a maioria dos trabalhos realizados em áreas de ocorrência de Cambissolos Húmicos, como na região onde foi realizado o estudo, uma vez que esse tipo de solos apresenta gênese recente, alto teor de matéria orgânica, com acidez potencial alta.

Os valores de pH encontrados nesse estudo estão condizentes com o trabalho de Schumacher et al. (1999) em uma área de campo nativo em Cambará do Sul, que relataram valores variando entre 4,1 e 4,6.

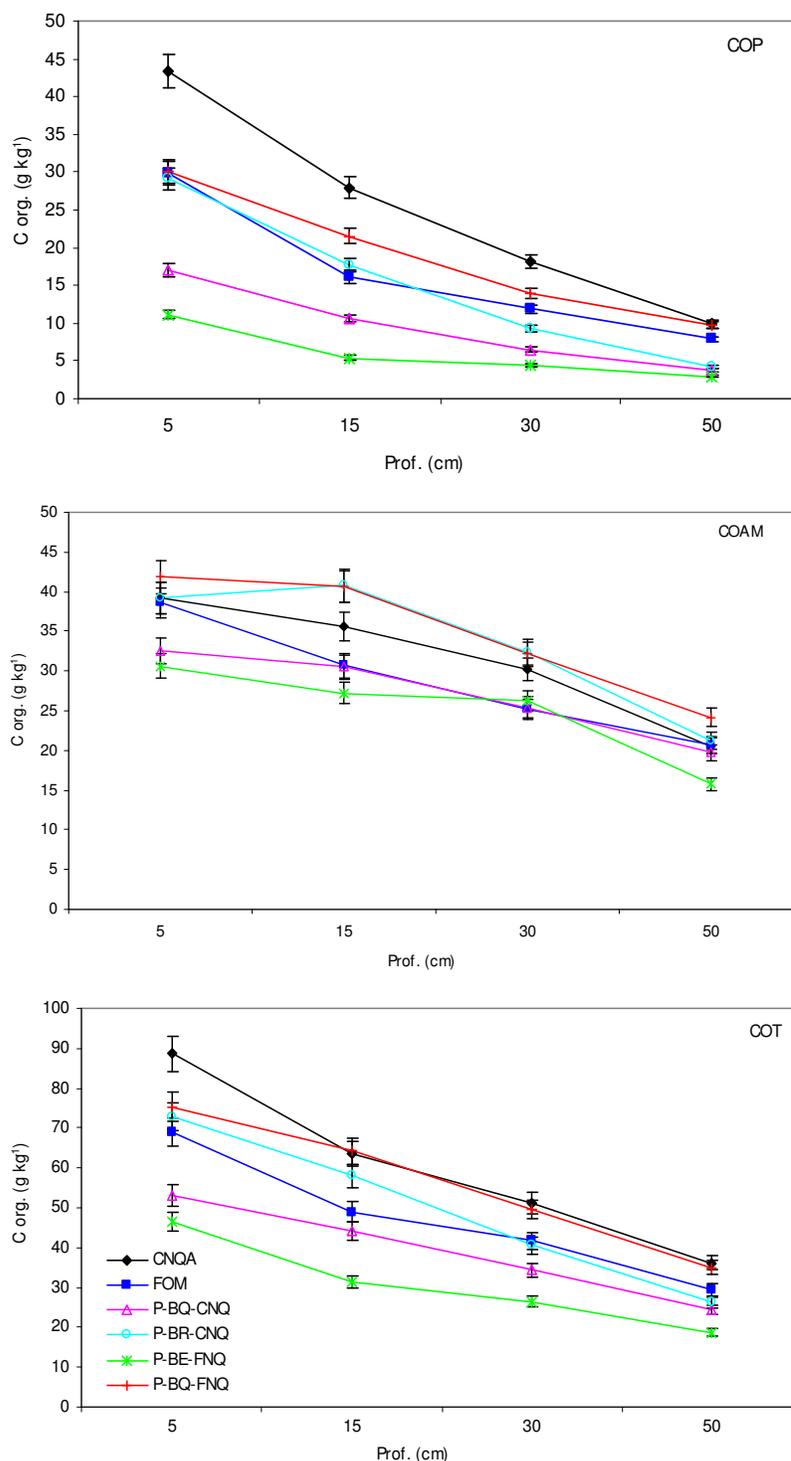
Em trabalho realizado em área de campo nativo queimado e não queimado, na região de Lages/SC, Rheinheimer et al. (2003) relataram que o campo queimado apresentou pH ligeiramente maior por até 220 dias após a queimada, na camada 0-2 cm, com valores acima de 5,0; sendo que após isso, o valor voltou a diminuir, variação que não foi acompanhada na área não queimada. Os autores também ressaltaram que o pH das camadas mais profundas, no caso do estudo, de 5-10 cm, não se modificou com a realização da queima. Porém, é importante ressaltar que o tratamento de campo queimado, dos autores citados, tratava-se de uma área que não era queimada há 20 anos e foi queimada para a realização da pesquisa, diferentemente do CNQA deste estudo, com queima anual, o que pode significar condições não tão severas influenciando o pH do solo.

Além da queima e do tipo de solo, outros fatores são importantes e ajudam a entender os baixos valores de pH do solo nas áreas de estudo, tais como o contínuo aporte de serapilheira formada predominantemente por acículas (com pH geralmente baixo) e a existência, em muitos casos, de considerável volume de raízes explorando bases trocáveis junto ao húmus na interface solo-serapilheira na superfície. Esses aspectos já foram ressaltados por Reissmann (1983), Trevisan et al. (1993), Schumacher et al. (1999) e König et al. (2004).

4.1.4 Carbono orgânico: concentração, estoque e fracionamento

Com base na Figura 8, pode ser observada a variação nos teores de carbono orgânico nas frações particulada (COP), associada aos minerais (COAM) e total (COT), entre os diferentes tratamentos e profundidades do solo.

O COP apresentou maior teor, na camada superficial de solo, para o CNQA, sendo seguido pelo P-BQ-FNQ, FOM e P-BR-CNQ, com teores mais próximos entre si, em torno de 30 g kg^{-1} ; e com teores relativamente menores, nessa camada, situaram-se os tratamentos P-BQ-CNQ e P-BE-FNQ.



CNQA: campo nativo queimado/pastejado anualmente; FOM: Floresta Ombrófila Mista; P-BQ-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1^o rotação queimada e campo nativo original queimado; P-BR-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1^o e 2^o rotações retiradas e campo nativo queimado; P-BE-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1^o rotação enleirada e floresta nativa original queimada; P-BQ-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1^o rotação queimada e floresta nativa original queimada.

FIGURA 8 - Distribuição dos teores de carbono orgânico particulado (COP), associado aos minerais (COAM) e total (COT), nas diferentes profundidades do solo. Cambará do Sul, RS. 2007.

Em termos gerais, a camada superficial apresentou, para todas as frações da matéria orgânica, os maiores teores de carbono. Fatores a serem discutidos para tanto, poderiam enquadrar a deposição de serapilheira, para os tratamentos sob florestas, e também a deposição de resíduos de atividades de manejo florestal, nas áreas plantadas. Assim, a dúvida ainda persistiria sobre como explicar que os maiores teores de carbono orgânico ocorreram no solo do CNQA, fato que contrariou parcialmente as expectativas.

Tal explicação pode estar relacionada ao fato de que no CNQA, ocorrem queimas anuais da vegetação seca, no inverno, o que gera quantidade significativa de carvão e cinzas sobre o solo. Esse material pode estar contribuindo com o elevado teor de carbono apresentado, uma vez que o método de análise usado neste estudo, através de combustão seca em aparelho CNS, é capaz de determinar todas as formas de carbono presente na amostra. Sendo assim, acredita-se que, principalmente para o campo nativo, o teor de C-carvão seja elevado, o que também não deixa de ocorrer nas demais áreas, pois todas têm histórico de queima, mas principalmente para os tratamentos P-BQ-FNQ e P-BQ-CNQ.

Essa preocupação já foi manifestada em outros estudos, como em Spagnollo (2004), o qual relata que um aspecto negativo do C-carvão é quanto à sua identificação em análises de rotina, pois as metodologias tradicionalmente empregadas na análise de carbono do solo vêm demonstrando, com boa precisão, os níveis que o solo apresenta, contudo, não diferenciam as formas de C (C-carvão ou C orgânico).

Os fragmentos de carvão encontrados nos solos são considerados biologicamente inertes e fisicamente estáveis em relação a trocas isotópicas com o meio externo (GOUVEIA et al., 1999).

A implicação desse material ao sistema de cultivo, deve-se à sua grande resistência à decomposição, permanecendo no solo como uma substância inerte, não contribuindo para a atividade biológica ou formação de MOS (Albrecht et al., 1995), sendo apenas um sub-produto da combustão ocorrida na queima.

De acordo com Spagnollo (2004), diversos estudos utilizando a combinação de técnicas de fracionamento físico, foto-oxidação e ressonância magnética nuclear têm conseguido identificar e quantificar as diferentes formas de C. Como exemplo, na Austrália, o C-carvão pode representar acima de 30% do conteúdo de CO do solo

(SKJEMSTAD et al., 1996), e nos EUA chegou a 35% na média de cinco diferentes solos (SKJEMSTAD et al., 2002).

Outra explicação plausível, refere-se ao fato de que a taxa de renovação de raízes no campo natural é muito alta, ou seja, uma grande biomassa de raízes mortas é incorporada como matéria orgânica do solo todo o ano, estando já incorporada ao solo e não na superfície. Essa quantidade pode ser tão significativa quanto à de serapilheira que é depositada pelas florestas. Tal possibilidade é embasada em Lal (1996), que relata estudos realizados na Colômbia, onde pastagens de *Brachiaria humidicola* (Poaceae) homogênea e em consórcio com *Arachis pintoii* (Amendoim-forrageiro perene) seqüestraram 4,1 e 11,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C, respectivamente. Porém, segundo o autor, a gramínea seqüestrou mais carbono em sub-superfície, fato que pode estar relacionado à alta relação C/N dessas espécies, que varia de 80 a 130, em alguns casos.

Na segunda camada de solo, os maiores teores de COP ocorreram nos tratamentos CNQA e P-BQ-FNQ, seguido do P-BR-CNQ e FOM com valores intermediários e P-BQ-CNQ e P-BE-FNQ, com os menores teores de carbono. Para a terceira camada de solo, além, é claro, do decréscimo normal do teor de carbono orgânico em relação à segunda camada, na ordem de prioridade dos teores em relação aos tratamentos, ocorreu apenas a inversão na seqüência dos tratamentos intermediários, ou seja, a FOM apresentou teor maior que do P-BR-CNQ.

Para a última camada de solo, não houve nenhuma mudança na ordem dos teores entre os tratamentos, mas uma aproximação entre os valores, fazendo com que pudessem ser percebidos dois grupos, um formado pelo CNQA, P-BQ-FNQ e FOM, com teores relativamente maiores do grupo seguinte, formado pelos demais três tratamentos.

Em nível geral, os teores de carbono orgânico na fração particulada mostraram um predomínio do CNQA, P-BQ-FNQ e em parte pela FOM. Esses tratamentos mostraram-se como os principais nos teores de carbono na fração COP. Os dois tratamentos com teores inferiores de carbono na fração COP foram P-BQ-CNQ e P-BE-FNQ.

O tratamento que apresentou os menores teores de COP (P-BE-FNQ) teve essa situação devido ao fato de que a coleta de amostras ocorreu fora das leiras de resíduo, ou seja, na área de plantio da rotação atual. Nessa situação, a coleta de amostras ocorreu em uma área sem adição de resíduos de colheita, somente da

serapilheira e com comparativamente alta decomposição, em função de fatores como a segunda rotação da área encontrar-se apenas com 8 anos de idade, sem ainda ter ocorrido o fechamento completo das entradas de luz até o solo, através das copas, permitindo a coexistência de um variado sub-bosque de espécies florestais e de gramíneas, também usadas para pastoreio bovino.

O carbono orgânico na fração associada aos minerais (COAM) apresentou teores muito semelhantes entre os tratamentos nas duas primeiras camadas de solo, iniciando um decréscimo a partir da terceira camada.

Na primeira camada de solo, o maior teor ocorreu no P-BQ-FNQ, seguido pelo P-BR-CNQ e pelas áreas testemunhas (CNQA e FOM). O mesmo comportamento verificado em relação ao COP foi diagnosticado para esta fração associada aos minerais quanto aos tratamentos P-BE-FNQ e P-BQ-CNQ, ou seja, apresentaram sempre os menores teores.

Na fração COAM, os tratamentos testemunhas posicionaram-se sempre com teores intermediários em relação ao solo das áreas com Pinus. Nessas áreas, os mesmos tratamentos com maiores teores de COP, apresentaram também os maiores teores de COAM, ou seja, P-BQ-FNQ e P-BR-CNQ.

Em função da maior uniformidade de teores na fração COAM, acredita-se que os mesmos não são ou pouco são afetados pelas atividades de manejo realizadas, pois a fração é mais estável e protegida na estrutura do solo.

Diferentemente de resultados já relatados para áreas agrícolas (SPAGNOLLO, 2004; CAMPOS, 2006), os dados deste estudo mostram teores relativamente semelhantes de COP e COAM. Essa situação é decorrente de duas causas principais: da condição climática da região (clima frio), que mantém maior proporção de carbono na fração particulada (maior acúmulo de húmus) e também da questão, já discutida anteriormente, do carvão acumulado, decorrente da queima realizada na vegetação original e também nos resíduos da primeira rotação, em alguns tratamentos (Informação pessoal do Prof. Dr. Telmo J. C. Amado (UFMS) e Prof. Dr. Cimélio Bayer (UFRGS)).

O comportamento dos teores de COT foi semelhante, em boa parte, aos teores na fração COP. Sendo assim, o CNQA e P-BQ-FNQ apresentaram os maiores teores de carbono. Como tratamentos intermediários, podem ser relatados a FOM e o P-BR-CNQ e como com teores inferiores, o P-BQ-CNQ e o P-BE-FNQ.

Acredita-se que as diferenças detectadas nos teores possam ainda ser predominantemente explicadas em função das características de solo intrínsecas a cada área estudada e não às práticas danosas de queima e/ou retirada da biomassa, que têm seus efeitos contrabalançados pelo grande aporte de serapilheira e resíduos das florestas plantadas. As condições de manejo das áreas com plantios florestais são caracteristicamente de baixa intensidade e maior prazo, fazendo com que possíveis diferenças quanto à dinâmica do carbono acumulado no solo sejam detectadas em maior escala de tempo.

Os estoques de carbono orgânico total e nas diferentes frações são apresentados na Tabela 6. Podem ser observadas grandes quantidades de COT acumuladas no solo das áreas, as quais tiveram o maior estoque no tratamento P-BQ-FNQ (284,25 Mg ha⁻¹), seguidas do CNQA, P-BR-CNQ, P-BQ-CNQ, FOM e por último do P-BE-FNQ (170,25 Mg ha⁻¹). Algo já esperado, a quantidade acumulada na superfície do solo foi superior, ocorrendo sempre decréscimo em profundidade na quantidade de carbono orgânico acumulado no solo.

A quantidade acumulada de COP foi diferenciada, sendo maior no CNQA (101,19 Mg ha⁻¹) e decrescendo para o P-BQ-FNQ, P-BR-CNQ, FOM, P-BQ-CNQ e por último o P-BE-FNQ (31,33 Mg ha⁻¹).

O acúmulo de COAM se deu, prioritariamente, no solo dos tratamentos P-BQ-FNQ (181,30 Mg ha⁻¹), seguido pelo P-BR-CNQ, CNQA, P-BQ-CNQ, P-BE-FNQ e com o menor acúmulo na FOM (125,45 Mg ha⁻¹). A posição intermediária do campo natural e inferior da floresta natural no acúmulo dessa fração leva a entender que o manejo do solo nas áreas de plantios de *Pinus taeda*, no presente momento, não demonstra influenciar o armazenamento dessa fração, fato que geralmente ocorre em áreas que são manejadas intensivamente na produção agropecuária, geralmente em longo prazo, uma vez que a fração que primeiro sente os efeitos do manejo é a particulada.

TABELA 6 - Estoques (Mg ha⁻¹) de carbono orgânico na fração particulada, associada aos minerais e total, no solo dos diferentes tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS. 2007.

Prof. (cm)	CNQA	FOM	P-BQ-CNQ	P-BR-CNQ	P-BE-FNQ	P-BQ-FNQ
Carbono orgânico particulado – COP (> 0,063 mm) (Mg ha ⁻¹)						
0 – 10	27,22	20,92	13,93	24,01	10,48	24,72
10 – 20	19,96	13,10	9,82	15,64	5,30	18,60
20 – 40	33,08	19,12	12,16	17,82	9,04	26,69
40 – 60	20,93	11,82	8,36	8,94	6,51	19,15
	101,19	64,97	44,27	66,40	31,33	89,15
Total	A	BC	CD	BC	D	AB
Carbono orgânico associado aos minerais – COAM (< 0,063 mm) (Mg ha ⁻¹)						
0 – 10	26,16	27,00	26,83	32,41	29,16	34,22
10 – 20	27,03	25,38	28,47	36,07	26,89	35,13
20 – 40	55,26	40,70	47,72	62,60	52,59	62,41
40 – 60	44,52	32,37	43,83	45,35	34,67	49,54
	152,98	125,45	146,85	176,44	143,31	181,30
Total	AB	B	AB	A	AB	A
Carbono orgânico total – COT (Mg ha ⁻¹)						
0 – 10	57,56	48,25	43,72	60,18	44,26	61,77
10 – 20	46,72	39,96	41,15	51,31	31,06	55,44
20 – 40	93,28	67,51	64,45	78,26	53,71	95,82
40 – 60	77,93	45,71	54,42	56,30	41,22	71,22
	275,49	201,43	203,74	246,05	170,25	284,25
Total	A*	BC	BC	AB	C	A

* Médias seguidas pela mesma letra, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade de erro.

CNQA: campo nativo queimado/pastejado anualmente; FOM: Floresta Ombrófila Mista;
 P-BQ-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e campo nativo original queimado;
 P-BR-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª e 2ª rotações retiradas e campo nativo queimado;
 P-BE-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação enleirada e floresta nativa original queimada;
 P-BQ-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e floresta nativa original queimada.

O tratamento que mais acumulou carbono no solo foi onde a floresta nativa original e a biomassa de resíduos da primeira rotação foram queimadas, seguida pelo campo nativo, também queimado anualmente. Os tratamentos que menos acumularam carbono referem-se à floresta nativa, mais em função da sua baixa densidade do solo do que pelos teores, os quais foram intermediários e também na

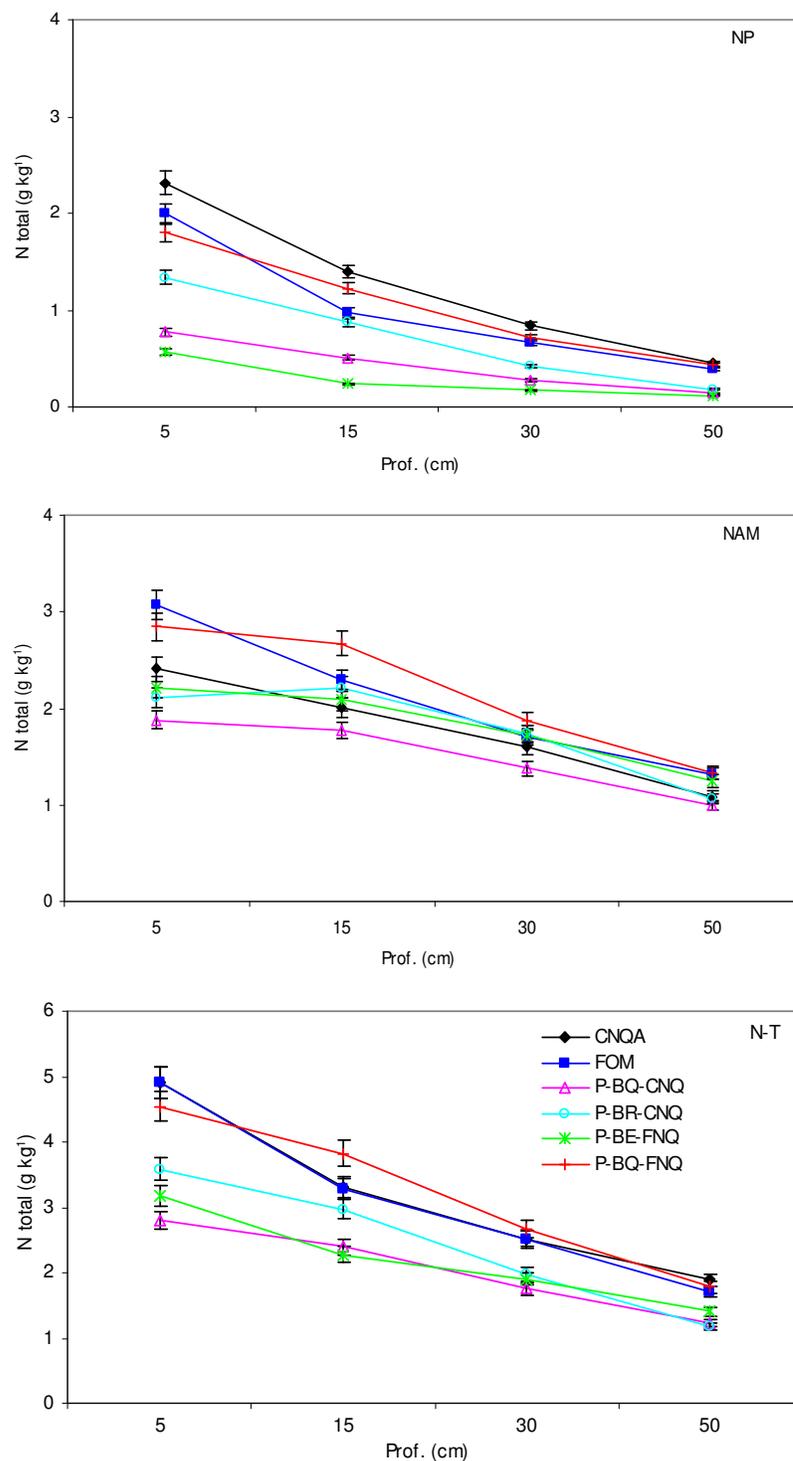
área de P-BE-FNQ, sendo essa uma das áreas que, apesar de também se encontrar em segunda rotação, é uma das mais jovens, devido a aspectos importantes como: a queimada da vegetação original não aumenta o carbono acumulado no solo, pois os tratamentos que mais e menos acumulam carbono tiveram a sua vegetação original queimada e o fato do enleiramento da camada de resíduos no tratamento que menos acumulou carbono fez com que este carbono ficasse concentrado nas leiras e não nos locais de plantio, onde foram coletadas as amostras.

O armazenamento de COT foi maior, predominantemente, nos tratamentos onde tanto a biomassa como a floresta nativa original foram queimadas e onde a biomassa foi retirada em área original de campo natural. Muito provavelmente, em função do C-carvão acumulado pela queima anual, o COP esteve armazenado em maior quantidade no CNQA, mas com valores muito próximos ao tratamento com queima de biomassa e floresta nativa original. Apesar de ser uma fração biologicamente inerte e cuja ocorrência decorre da queima da vegetação da área, esse armazenamento de carvão no solo não é um aspecto totalmente prejudicial, uma vez que este carbono contido no carvão está armazenado a longo prazo no solo e, nessa condição, não poderá ser emitido para a atmosfera.

4.1.5 Nitrogênio total: concentração, fracionamento e estoque

Na Figura 9, podem ser observadas as variações dos teores de nitrogênio total nas frações particulada (NP), na associada aos minerais (NAM) e na fração total (NT). Os teores de NP no solo foram muito semelhantes aos de COP, com os tratamentos apresentando a mesma seqüência de comportamento.

Observou-se também um decréscimo linear da primeira até a última camada de solo avaliada, com o CNQA apresentando os maiores teores, sendo seguido pelo P-BQ-FNQ, FOM, a qual apresentou o segundo maior teor na primeira camada, P-BR-CNQ e na seqüência, os menores teores nas áreas P-BQ-CNQ e P-BE-FNQ. Esse comportamento é considerado normal em solos de áreas naturais ou em áreas plantadas que sofram manejo de baixa intensidade, como é o caso dos plantios florestais de *Pinus* sp. na região. Nesses ecossistemas, a introdução de carbono ocorre, predominantemente, em superfície, através da serapilheira e dos resíduos de atividades de manejo e colheita.



CNQA: campo nativo queimado/pastejado anualmente; FOM: Floresta Ombrófila Mista; P-BQ-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1^o rotação queimada e campo nativo original queimado; P-BR-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1^o e 2^o rotações retiradas e campo nativo queimado; P-BE-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1^o rotação enleirada e floresta nativa original queimada; P-BQ-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1^o rotação queimada e floresta nativa original queimada.

FIGURA 9 - Distribuição dos teores de nitrogênio total na matéria orgânica particulada (NP), na associada aos minerais (NAM) e total (NT), em diferentes profundidades do solo. Cambará do Sul, RS. 2007.

O NAM apresentou comportamento um tanto diferenciado, onde na primeira camada de solo a FOM apresentou o maior teor, sendo ultrapassada nas demais camadas pela área de P-BQ-FNQ. Com teores intermediários, CNQA, P-BE-FNQ e P-BR-CNQ mostraram teores muito semelhantes entre si. Novamente, o menor teor coube ao P-BQ-CNQ. As curvas dos teores de NAM mostraram-se também muito semelhantes às de COAM, demonstrando a perfeita inter-relação do C e do N na matéria orgânica do solo.

No tratamento P-BR-CNQ, área há mais tempo cultivada com *Pinus taeda*, com duas rotações completas, a camada superficial do solo apresenta um teor de NAM um pouco menor do que a segunda camada. Tal fato pode significar a ocorrência de um consumo de NAM no crescimento das árvores, pois essa área é a única que já suportou o crescimento de duas rotações, com maior extração do nutriente. Esse aspecto alerta para que, a cada rotação, sejam realizadas avaliações quanto ao status da matéria orgânica e seus componentes nas áreas de plantio de Pinus, de forma que o consumo porventura ocorrido seja repostado, visando à sustentabilidade das florestas plantadas de *Pinus sp.* na região.

Os teores de N, na fração total do solo, mostraram os tratamentos testemunhas (CNQA e FOM) com variação muito próxima entre si. Juntamente a eles, a área de P-BQ-FNQ apresentou os maiores teores de nitrogênio total na fração total de solo. Teores intermediários, nessa fração, ocorreram na área de P-BR-CNQ e os menores teores novamente foram encontrados no P-BE-FNQ e no P-BQ-CNQ. Como pode ser observado, o aspecto ressaltado no parágrafo anterior não é observado quanto se trata do N na fração total, uma vez que o N na fração particulada já realiza essa reposição. Porém, tem-se que dar atenção ao fato de que a condição climática mais fria (Clima Cfb) da região causa maior concentração de matéria orgânica na forma particulada, humificada, sendo fonte de nutrientes para as plantas, ou seja, não há garantia de que a fração particulada vá se transformar em fração associada aos minerais ao longo do tempo, ou ao menos a velocidade de transformação é menor.

A Tabela 7 apresenta os estoques de nitrogênio total nas frações total, particulada e associada aos minerais. O maior estoque de N na fração total foi encontrado para a área de P-BQ-FNQ (15,80 Mg ha⁻¹), seguida pela área de CNQA, FOM, P-BE-FNQ, P-BR-CNQ e P-BQ-CNQ, este com 10,52 Mg ha⁻¹.

TABELA 07 - Estoques (Mg ha^{-1}) de nitrogênio total na fração particulada, na associada aos minerais e no solo total dos diferentes tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS, 2007.

Prof. (cm)	CNQA	FOM	P-BQ-CNQ	P-BR-CNQ	P-BE-FNQ	P-BQ-FNQ
Nitrogênio total – NT (Mg ha^{-1})						
0 – 10	3,17	3,43	2,31	2,97	3,03	3,73
10 – 20	2,44	2,67	2,22	2,62	2,24	3,30
20 – 40	4,58	4,09	3,28	3,81	3,89	5,16
40 – 60	4,06	2,66	2,70	2,50	3,09	3,62
	14,25	12,85	10,52	11,90	12,25	15,80
Total	A*	AB	B	B	AB	A
Nitrogênio na fração particulada – NP (> 0,063 mm) (Mg ha^{-1})						
0 – 10	1,44	1,40	0,63	1,11	0,54	1,49
10 – 20	0,99	0,79	0,47	0,77	0,23	1,05
20 – 40	1,53	1,08	0,52	0,82	0,35	1,37
40 – 60	0,95	0,58	0,32	0,38	0,26	0,85
	4,91	3,84	1,94	3,08	1,39	4,76
Total	A	AB	C	BC	C	AB
Nitrogênio associado aos minerais – NAM (< 0,063 mm) (Mg ha^{-1})						
0 – 10	1,60	2,15	1,55	1,75	2,12	2,33
10 – 20	1,53	1,90	1,65	1,96	2,06	2,31
20 – 40	2,93	2,77	2,58	3,35	3,51	3,63
40 – 60	2,35	2,09	2,22	2,27	2,76	2,74
	8,41	8,90	8,01	9,33	10,44	11,01
Total	C	C	C	BC	AB	A

* Médias seguidas pela mesma letra, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade de erro.

CNQA: campo nativo queimado/pastejado anualmente; FOM: Floresta Ombrófila Mista;

P-BQ-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e campo nativo original queimado;

P-BR-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª e 2ª rotações retiradas e campo nativo queimado;

P-BE-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação enleirada e floresta nativa original queimada;

P-BQ-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e floresta nativa original queimada.

Para o nitrogênio na fração particulada (NP), o CNQA foi dominante em acúmulo, com $4,91 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo seguido pela área P-BQ-FNQ, FOM, P-BR-CNQ, P-BQ-CNQ e por último pelo P-BE-FNQ, com $1,39 \text{ Mg ha}^{-1}$.

A fração associada aos minerais apresentou acúmulos de nitrogênio total relativamente diferenciados, porém, o maior acúmulo continuou sendo no P-BQ-FNQ

(11,01 Mg ha⁻¹), mas seguido do P-BE-FNQ, P-BR-CNQ, FOM, CNQA e por último P-BQ-CNQ (8,01 Mg ha⁻¹).

Em termos gerais, os maiores acúmulos de nitrogênio total podem ser relatados para a área de Pinus em área original de floresta nativa, onde tanto essa como o resíduo da primeira rotação foram queimados. Essa área apresenta bom estoque de N na fração mineral, assim como na particulada. Os menores acúmulos de nitrogênio são reconhecidos na área de Pinus com origem em campo nativo, o qual era anualmente queimado e a biomassa de resíduos da primeira rotação também foi queimada.

Sendo assim, tudo indica que até o momento, a prática do fogo parece não influenciar qualitativamente no acúmulo de N. Talvez o fato de que nas áreas de campo, a queima ocorria anualmente e que nas áreas de floresta nativa, a queima ocorreu apenas quando da derrubada da mesma para a implantação dos plantios de Pinus, ou seja, essa influência do fogo pode ser quantitativa, em relação ao número de ocasiões em que a vegetação da área sofreu queima.

Também deve-se considerar o fato de que, apesar das áreas com cultivo de Pinus estarem todas em segunda rotação, as idades da rotação atual são todas diferentes entre si. Mesmo assim, em relação ao acúmulo de N, as áreas com origem de campo nativo parecem ser mais impactadas pelo manejo com queima do que as áreas com origem em floresta nativa.

4.1.6 Relação C/N no solo

A relação C/N no solo das áreas estudadas, para as diferentes frações de matéria orgânica, está mostrada na Tabela 8. Como era esperado, os maiores valores ocorreram para a fração particulada, por ser uma fração mais jovem, podendo ainda apresentar partículas não completamente decompostas e húmus.

Na fração total, a relação C/N variou de 13,7 (P-BE-FNQ) até 20,9 no P-BR-CNQ. A fração particulada, com valores relativamente maiores, variou desde 16,3 na FOM até 31,6 no P-BQ-CNQ. Para a fração associada aos minerais, os valores variaram desde 12,6 (P-BE-FNQ) até 20,5 no P-BR-CNQ.

TABELA 8 - Relação C/N na fração particulada, associada aos minerais e total, no solo dos diferentes tratamentos estudados. Cambará do Sul, RS, 2007.

Prof. (cm)	CNQA	FOM	P-BQ-CNQ	P-BR-CNQ	P-BE-FNQ	P-BQ-FNQ
Fração particulada (> 0,063 mm)						
0 – 10	20,7 a	16,3 c	22,8 a	22,1 a	20,2 ab	17,1 bc
10 – 20	21,4 ab	18,8 b	22,6 a	20,5 ab	23,1 a	18,3 b
20 – 40	22,3 ab	22,9 ab	25,9 ab	22,1 ab	26,6 a	20,3 b
40 – 60	24,8 a	26,9 a	31,6 a	23,7 a	25,7 a	23,9 a
Média	20,6	17,4	23,2	21,8	23,1	19,0
Fração associada aos minerais (< 0,063 mm)						
0 – 10	16,3 bc	12,9 d	17,4 ab	18,8 a	13,9 d	14,6 cd
10 – 20	17,9 a	13,6 c	17,2 a	18,5 a	13,0 c	15,3 b
20 – 40	19,0 a	14,8 b	18,3 a	18,5 a	14,2 b	17,3 ab
40 – 60	19,0 a	15,6 b	19,4 a	20,5 a	12,6 c	18,1 a
Média	18,0	14,1	18,2	18,9	13,7	16,3
Fração total						
0 – 10	18,3 bc*	14,4 d	19,0 ab	20,4 a	14,7 c	16,9 c
10 – 20	19,4 a	15,1 c	18,5 ab	19,9 a	13,7 c	16,9 b
20 – 40	20,4 a	16,4 b	19,6 a	20,9 a	13,8 c	18,6 ab
40 – 60	19,8 b	17,0 c	19,9 ab	22,5 a	13,3 d	19,7 b
Média	19,2	15,7	19,3	20,7	13,9	17,9

* Compara as médias, na horizontal, através do teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.
 CNQA: campo nativo queimado/pastejado anualmente; FOM: Floresta Ombrófila Mista;
 P-BQ-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e campo nativo original queimado;
 P-BR-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª e 2ª rotações retiradas e campo nativo queimado;
 P-BE-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação enleirada e floresta nativa original queimada;
 P-BQ-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e floresta nativa original queimada.

Somente em alguns casos puderam ser observados aumentos na relação C/N de forma proporcional à profundidade do solo, principalmente nas áreas testemunhas, mas também no tratamento P-BQ-FNQ. Somente em um caso, para a fração total do solo, no tratamento P-BE-FNQ, a variação na relação C/N foi inversa à profundidade do solo, sendo maior na camada superficial.

Em relação à área com biomassa enleirada (P-BE-FNQ), aspecto já ressaltado neste trabalho, as menores relações C/N no solo na fração total e na associada aos minerais demonstram que a mesma tem um processo de

decomposição mais rápido onde as amostras foram coletadas, ou seja, nos locais onde o resíduo foi recolhido e não no local das leiras.

Outro aspecto importante de ser ressaltado é o fato de que, na fração particulada, as relações C/N, apesar de serem maiores que nas demais frações, nunca ultrapassam o valor de referência de 30, considerado para uma boa decomposição da serapilheira e dos resíduos de colheita. Isso demonstra que, apesar de relativamente lento, o processo de decomposição dessa biomassa residual se processa normalmente, apresentando relações C/N muito semelhantes às ocorridas no solo das áreas testemunhas.

4.2 Região 2 – Depressão Central, RS

4.2.1 Serapilheira acumulada

Na Tabela 9, são apresentadas as quantidades médias de serapilheira acumulada sobre o solo nos diferentes tratamentos estudados, na região da Depressão Central do RS. As áreas com plantios de *Pinus elliottii* mostraram maior acúmulo de serapilheira, em relação às áreas testemunhas, porém de maneira não proporcional à idade das florestas.

Levando-se em consideração o fato de que ambas as áreas plantadas estão em primeira rotação, estando sujeitas a regime semelhante de manejo (número e intensidade de desbastes e desramas) e apesar de, para estas áreas, a quantidade de serapilheira acumulada ser estatisticamente igual, pode-se perceber que a área com 24 anos tem superioridade em acúmulo, seguida pelas áreas com 27 e pela de 20 anos.

A quantidade de serapilheira acumulada não é influenciada somente pela quantidade produzida e pela taxa de decomposição, mas também pela qualidade do sítio (BRUM, 1979). Isso ajuda a explicar as variações não proporcionais às idades, detectadas neste trabalho, uma vez que os sítios de produção são variáveis entre si, mesmo em locais próximos.

Em trabalho realizado na região de Telêmaco Borba-PR, Valeri; Reissmann (1989) encontraram uma quantidade acumulada de serapilheira igual a 7,8; 19,7 e 24,3 Mg ha⁻¹ em povoamentos de *Pinus taeda* com 7, 10 e 14 anos de idade.

TABELA 9 - Quantidade (Mg ha⁻¹) de serapilheira acumulada sobre o solo e a variação apresentada, nos diferentes tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.

Tratamento	Serapilheira acumulada	
	(Mg ha ⁻¹)	CV%
CN*	4,40 b**	32,6
FED	5,92 b	40,8
PE20	17,61 a	38,2
PE24	24,64 a	34,0
PE27A	23,69 a	52,8
PE27B	22,76 a	67,9

* Na área de campo nativo foi coletada a biomassa acima do solo e não somente a serapilheira.

** Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

CN: campo nativo queimado/pastejado anualmente no passado e sem queima nos últimos 15 anos, sendo então roçado 2x/ano e pastejado; FED: Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração; PE20: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 20 anos de idade, em área original de campo nativo; PE24: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 24 anos de idade, em área original de campo nativo; PE27A e PE27B: áreas de *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 27 anos de idade, em área original de campo nativo.

As quantidades encontradas pelos autores citados nas duas idades superiores são comparáveis às deste estudo, porém com idades ainda inferiores às deste trabalho, o que demonstra um acúmulo maior de serapilheira nas áreas estudadas por Valeri; Reissmann (1989), onde a densidade de árvores era de 2062, 1240 e 731 por hectare, respectivamente para 7, 10 e 14 anos de idade.

Com base em vários trabalhos de pesquisa realizados avaliando a ciclagem de nutrientes através da serapilheira em *Pinus taeda* e *P. elliottii*, compilados por Reissmann; Wisniewski (2000), a qualidade do sítio é um fator determinante na produção e acúmulo de serapilheira sobre o solo. Esses autores destacam a maior produção em sítios de melhor qualidade e maior acúmulo nos sítios de qualidade inferior, inferindo que, em sítios limitantes, a imobilização de nutrientes na serapilheira é maior, causando o aparecimento de quantidade significativa de raízes finas explorando os nutrientes nos horizontes orgânicos (REISSMANN, 1983).

Os autores destacam quantidades acumuladas de serapilheira, variando entre 20 e 40 Mg ha⁻¹ em idades entre 9 e 23 anos, onde nem sempre a relação idade x acúmulo foi diretamente proporcional, uma vez que são influenciadas pelos fatores de sítio. Outro aspecto importante para ser ressaltado refere-se ao fato de que as maiores produções de serapilheira geralmente ocorrem em torno dos 10 anos de

idade, levando-se a crer que possa ocorrer, com o avanço da idade, uma estabilização nessa produção (VALERI, 1988).

A floresta nativa testemunha acumulou $5,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de serapilheira. Essa quantidade é comparável aos valores encontrados em outras áreas de Floresta Estacional no RS. Como exemplo, Brun (2002), pesquisando três estágios sucessionais de regeneração (médio, avançado e floresta primária), relatou acúmulo de serapilheira de 5,2; 5,7 e $7,1 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. König et al. (2001) relataram acúmulo de $6,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ em um estágio avançado de regeneração de Floresta Estacional Decidual em Santa Maria, RS. Cunha et al. (1993), para uma Floresta Estacional Decidual em estágio avançado de regeneração, relataram $6,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ de serapilheira acumulada.

A área de campo nativo apresentou uma biomassa acumulada acima de solo de $4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$. Esse valor, comparado com outros estudos de levantamento de biomassa seca em campo nativo, mostra valores semelhantes. Boldo et al. (2007) encontraram uma biomassa acumulada de 5,0 e $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, em campo natural sem queima e com pastoreio e em campo natural melhorado, na região de São Francisco de Paula, RS.

O valor encontrado é menor do que o da região dos Campos de Cima da Serra, que foi de $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de material seco, porém, dentro do intervalo relatado em Moojen (1991), entre 2,5 e $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de produção anual de biomassa nas pastagens nativas não melhoradas do RS.

Para embasamento na comparação de valores, cabe citar, entre outros trabalhos, o de Bortoli et al. (2006), que estudaram a influência de diferentes condições de adubação no acúmulo de biomassa acima do solo em campo nativo na região da Depressão Central do RS, relatando que as áreas adubadas (600 kg ha^{-1} de NPK 5-20-20 e 3000 kg ha^{-1} de calcário calcítico) acumularam em torno de $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, contra cerca de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ na área não adubada.

Em trabalho realizado por Tissot et al. (1999), a quantidade de massa seca produzida por uma área de campo nativo na Depressão Central do RS foi de $9,48 \text{ Mg ha}^{-1}$, porém sob regime de corte total da biomassa a cada 45 dias, o que influenciou essa maior produção.

Deve-se considerar o fato de que o campo nativo em questão, apesar de não sofrer queima há 15 anos, é roçado duas vezes ao ano, geralmente em fevereiro e

outubro, levando-nos a entender que a biomassa acumulada no momento da coleta das amostras (agosto) situa-se entre baixa e média produção.

Valores maiores que esses são descritos para pastagens não queimadas e não roçadas (9,6 Mg ha⁻¹), áreas de pastagens melhoradas (9,5 e 9,1 Mg ha⁻¹) e áreas sem queima e com roçada (7,0 Mg ha⁻¹) (HERINGER; JACQUES, 2002).

A Tabela 10 apresenta as concentrações e as quantidades de carbono orgânico e nitrogênio total na serapilheira coletada nos diferentes tratamentos. As maiores concentrações de carbono foram detectadas na serapilheira dos povoamentos de *Pinus elliottii* com 20, 27A e 27B anos de idade, assim como na biomassa do campo nativo, sendo que essas quatro áreas apresentaram teores estatisticamente iguais entre si. A concentração de carbono orgânico na serapilheira da floresta nativa apresentou-se intermediária. Teor inferior de carbono foi encontrado na serapilheira da floresta de *Pinus elliottii* com 24 anos de idade.

TABELA 10 - Teores (\pm CV%), quantidade de Carbono orgânico (C) e Nitrogênio total (N) e a relação C/N na serapilheira acumulada sobre o solo, nos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS, 2007.

Tratamento	Teores (g kg ⁻¹)		Quantidade (kg ha ⁻¹)		Relação C/N
	C	N	C	N	
CN	470,89 \pm 7,3 a	10,26 \pm 17,9 b	2071,91	45,16	45,9 a
FED	408,80 \pm 13,8 b	15,87 \pm 20,0 a	2418,29	93,86	25,8 c
PE20	482,32 \pm 1,8 a	9,48 \pm 21,4 b	8493,00	166,87	50,9 a
PE24	354,60 \pm 9,5 c	10,40 \pm 18,4 b	8737,22	256,15	34,1 b
PE27A	470,09 \pm 2,6 a	9,84 \pm 14,6 b	11137,91	233,05	47,8 a
PE27B	468,02 \pm 5,0 a	9,47 \pm 17,4 b	10653,18	215,52	49,4 a

* Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

CN: campo nativo queimado/pastejado anualmente no passado e sem queima nos últimos 15 anos, sendo então roçado 2x/ano e pastejado; FED: Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração; PE20: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 20 anos de idade, em área original de campo nativo; PE24: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 24 anos de idade, em área original de campo nativo; PE27A e PE27B: áreas de *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 27 anos de idade, em área original de campo nativo.

Os maiores teores de carbono relatados na Tabela 10 (entre 468 a 482 g kg⁻¹) são comparáveis aos maiores da Tabela 3 (entre 454 a 496 g kg⁻¹), para os tratamentos pesquisados na região dos Campos de Cima da Serra, mostrando que, pelo menos entre as áreas com plantios de *Pinus elliottii* e *P. taeda*, as variações entre os teores são pequenas. O teor de carbono na serapilheira da área com 24

anos apresentou-se baixo, sendo menor que em todos os demais tratamentos. Afora isso, os teores na serapilheira da FED da região da Depressão Central e na biomassa acima do solo do CNQA dos Campos de Cima da Serra, são próximos entre si.

Porém, menores teores de carbono na serapilheira sob florestas de *Pinus* sp. são passíveis de ocorrência. Como exemplo, em uma área plantada com *Pinus elliottii*, com 36 anos de idade, em Santa Maria, RS, Schumacher et al. (2004a) relataram que o teor de carbono orgânico na serapilheira foi de 441,9 g kg⁻¹, o que equivaleu a uma quantidade acumulada igual a 7,6 Mg ha⁻¹.

Em uma área de *Pinus taeda* com 5 anos de idade, em Cambará do Sul, RS, Balbinot et al. (2000) relataram teor de carbono orgânico na serapilheira igual a 442,5 g kg⁻¹, muito semelhante ao teor encontrado pelos autores anteriores, mostrando que, independente da região de plantio ou da espécie, a serapilheira de *Pinus* sp. apresenta altos teores de carbono orgânico em sua constituição.

Em relação a estágios sucessionais de Floresta Ombrófila Mista, os teores de carbono na serapilheira neste estudo são significativamente maiores. Watzlawick et al. (2002) relataram teores iguais a 378,5; 384,2 e 381,6 g kg⁻¹, na serapilheira de estágio inicial, médio e avançado, respectivamente, em General Carneiro, PR.

Em área de plantio de *Araucaria angustifolia* no Sudoeste do Paraná, Capra (2001) encontrou 406,8 g kg⁻¹ para o teor de carbono na serapilheira em uma área de primeiro desbaste.

Dessa forma, acredita-se que o baixo teor de C ocorrido na serapilheira da área com 24 anos possa ser decorrente de fator já relatado em inúmeras pesquisas, sintetizadas em Reissmann; Wisnewski (2000), os quais dizem que em sítios de baixa qualidade, ocorrem maiores acúmulos, em função dos baixos teores de elementos químicos na serapilheira, o que a torna menos atrativa à fauna decompositora.

Também cabe ressaltar que a composição das amostras coletadas pode ter apresentado variações que explicariam o menor teor de carbono, uma vez que a amostragem não obedeceu proporção entre os componentes acículas, galhos, cascas, madeira, etc., mas foi coletada toda a amostra que ficava presente dentro do quadro de coleta, quando da sua instalação sobre o solo.

As concentrações de N na serapilheira apresentaram comportamento diferenciado em relação ao carbono, com o maior valor na floresta nativa (15,9 g kg⁻¹

¹). Os demais tratamentos apresentaram teores estatisticamente iguais de N, girando ao redor de 10 g kg⁻¹.

Em comparação com os tratamentos da região dos Campos de Cima da Serra, os teores de N foram menores na Depressão Central, menos para o campo nativo, que foi levemente superior, possivelmente pelo fato da não ocorrência de queima, já há quinze anos, no CN dessa última área.

As áreas sob cultivo de *Pinus elliottii*, na Depressão Central do RS, tendo sido plantadas sobre áreas originalmente de campo nativo, tendem a apresentar teores de N semelhante ao das áreas de *Pinus taeda* sobre campo nativo da região dos Campos de Cima da Serra, e ambos com teores menores do que as áreas originalmente com floresta nativa (esse aspecto já foi discutido no item 4.1.1).

Tanto para o CN, FED e também para as áreas com plantios de Pinus, os teores de N foram inferiores aos relatados por Tissot et al. (1999), igual a 16,5 g kg⁻¹, para biomassa de campo nativo, na Depressão Central do RS.

Em plantios de *Pinus taeda* com diferentes idades (4,5; 12,5; 17,5 e 23,5 anos), todos em primeira rotação e em área original de campo natural, na região de Camará do Sul, RS, Schumacher et al. (2004b) relataram teores de N na serapilheira entre 5,75 e 8,73 g kg⁻¹, inferiores a este estudo. A área testemunha desses autores (fragmento de floresta natural) apresentou teor igual a 12,3 g kg⁻¹.

Com base nos teores de C e N na serapilheira e na biomassa acumulada da mesma, a quantidade de C e N acumulada foi expressivamente maior nos tratamentos compostos por florestas de *P. elliottii*. A menor quantidade de C foi encontrada no campo nativo, com valor muito próximo ao da floresta nativa.

Em relação ao N, as áreas com florestas de *P. elliottii* também foram mais expressivas em acumular o nutriente, porém, em função, principalmente, dos teores diferenciados, observa-se que a área com 24 anos acumulou a maior quantidade, seguida das áreas com 27 e 20 anos. A menor quantidade de N acumulado ocorreu no campo nativo. A Floresta nativa, em função do alto teor de N na sua serapilheira acumulada, apresentou quantidade intermediária em termos gerais e cerca de duas vezes maior que no campo nativo.

A relação C/N, variável de fundamental importância para indicar as condições de decomposição da serapilheira acumulada, apresentou valores considerados adequados na floresta nativa, próximo a 25. Na floresta de *P. elliottii* com 24 anos de

idade, o valor foi em torno de 35. Nas demais áreas de *P. elliotii* e no campo nativo, essa relação foi maior, entre 45 e 50.

A não ser para a área com 24 anos, a relação C/N da serapilheira dos tratamentos na região da Depressão Central foi mais elevada do que nas áreas da região dos Campos de Cima da Serra, isso, principalmente, em função dos baixos teores de N na primeira área.

Segundo a literatura especializada do tema, relações C/N adequadas para uma boa decomposição da serapilheira ficam entre 20 e 30, o que situa a FED e a área de 24 anos como em boas condições. As demais áreas apresentam relações mais altas, o que determina um processo mais lento de decomposição.

Mesmo assim, esse processo, por ser relativamente lento, não pode ser visto como problemático, uma vez que os nutrientes armazenados na serapilheira, durante o crescimento das árvores, são atacados lentamente através das raízes finas que permeiam o material em decomposição e, nas atividades de colheita, processo onde ocorre maior incremento de resíduos que se juntam à serapilheira. Esse material sobre o solo é parcialmente misturado ao mesmo nas atividades de colheita e preparo do solo para o plantio posterior, é exposto à insolação direta (aumento de temperatura), entre outros aspectos. Isso causa uma aceleração do processo de decomposição, o que, apesar de ser negativo em nível de manutenção do carbono no solo, pelo incremento da respiração, será benéfico para as novas mudas plantadas, que terão mais nutrientes à disposição para sua absorção.

4.2.2 Densidade do Solo

A densidade do solo apresentou médias com diferenças estatisticamente significativas somente em relação à profundidade e somente nos tratamentos testemunhas (campo nativo e floresta nativa). Em relação aos demais tratamentos, para cada profundidade, a análise de variância a 95% de probabilidade de confiança não detectou diferenças significativas (Tabela 11).

Nos tratamentos testemunhas, a densidade do solo aumentou em profundidade, sendo maior na terceira camada (Campo nativo) e na quarta camada (Floresta Nativa). Mesmo que não tenham sido detectadas diferenças significativas na densidade do solo em profundidade, pode-se perceber uma tendência geral de

aumento dos valores em profundidade, principalmente quando se confronta a primeira camada com as demais.

TABELA 11 - Densidade do solo (g cm^{-3}) nos diferentes tratamentos estudados, em quatro profundidades do solo. Cachoeira do Sul, RS. 2007.

Prof. (cm)	CN	FED	PE20	PE24	PE27A	PE27B
0-10	1,38 b	1,25 b	1,39 a	1,37 a	1,44 a	1,38 a
10-20	1,56 ab	1,45 ab	1,40 a	1,57 a	1,57 a	1,50 a
20-40	1,62 a	1,54 ab	1,67 a	1,54 a	1,50 a	1,58 a
40-60	1,51 ab	1,68 a	1,45 a	1,46 a	1,52 a	1,61 a
Média	1,52	1,48	1,48	1,49	1,51	1,52

* Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. As comparações entre os diferentes tratamentos, para cada profundidade, não foram significativas na análise de variância, a 5% de probabilidade de erro.

CN: campo nativo queimado/pastejado anualmente no passado e sem queima nos últimos 15 anos, sendo então roçado 2x/ano e pastejado; FED: Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração; PE20: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 20 anos de idade, em área original de campo nativo; PE24: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 24 anos de idade, em área original de campo nativo; PE27A e PE27B: áreas de *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 27 anos de idade, em área original de campo nativo.

A ocorrência de aumento na densidade do solo em profundidade, ou seja, solos com densidade superficial menor é algo esperado em sistemas de cultivo que manejam o solo em baixa intensidade, como nos plantios florestais, uma vez que o tráfego de máquinas sobre o solo, assim como outros fatores de compactação, são utilizados somente no plantio e nas atividades de manejo que são realizadas ao longo da rotação, mas não de forma anual como em plantios agrícolas.

Além disso, o aumento da densidade do solo com a profundidade é também esperado, uma vez que as camadas superiores exercem pressão sobre as subjacentes, diminuindo a porosidade e provocando compactação (CASTRO, 1995).

Mesmo assim, ao se observarem os valores de densidade, de forma isolada, com base em referências na área, pode-se perceber que são densidades relativamente altas, as quais demandariam a realização de preparo do solo na ocasião de um plantio novo. Jussuf (1988) afirma que árvores com plantios de *Eucalyptus grandis* tiveram o crescimento das raízes inibido quando os valores da densidade do solo superaram $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ e em *Pinus taeda*, o crescimento de raízes ficou comprometido quando a densidade ficou acima de $1,30 \text{ g cm}^{-3}$.

Em trabalho realizado em áreas com plantios de *Pinus taeda* com 17 anos de idade, em dois Argissolos (Argissolo Vermelho Distrófico típico e Argissolo Vermelho Distrófico abruptico), Cechin (2007) relatou valores médios de densidade (0-40 cm) de $1,1 \text{ g cm}^{-3}$ antes da colheita da floresta, alcançando $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ após corte, arraste com skidder e retirada da madeira do estaleiro, no primeiro solo. No segundo solo, os valores variaram de $1,1$ até $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, na mesma seqüência de eventos.

Os valores de densidade encontrados na camada superficial do solo, em todos os tratamentos analisados, são menores que o valor considerado crítico ao desenvolvimento das plantas ($1,55 \text{ g cm}^{-3}$) para os solos de textura média (20 a 55% de argila), proposto por Reichert *et al.* (2003), fato que ocorre para as áreas PE24, PE27A e CN na segunda camada, em todos os tratamentos menos PE27A na terceira camada e na FED e PE27B na última camada.

4.2.3 pH do Solo

Os dados de pH do solo (Tabela 12) mostraram valores estatisticamente diferenciados somente no campo nativo, com valor maior na primeira camada de solo, estatisticamente igual ao valor da segunda camada e esses sendo superiores aos demais valores (terceira e quarta camadas). Nos demais tratamentos, não foi possível detectar diferenças estatísticas entre os valores de pH com a variação da profundidade. Mesmo assim, puderam-se perceber leves tendências de diminuição de pH em profundidade na floresta nativa e nas áreas com *P. elliottii*, à semelhança do ocorrido no campo nativo.

Muitas áreas de cultivo de *Pinus* sp. apresentam tendência de terem pH mais ácido na camada superficial do solo, em função da acidificação provocada pelo acúmulo de acículas, uma vez que as características químicas do resíduo depositado influenciam no pH dos horizontes superficiais do solo (SCHUMACHER *et al.*, 2002). Neste estudo, ainda não é possível verificar essa tendência, uma vez que os menores valores ainda ocorrem na camada mais profunda de solo, em todos os tratamentos, possivelmente pelo fato de se tratar apenas da primeira rotação de *Pinus* na área.

TABELA 12 - Valores de pH do solo nos diferentes tratamentos estudados, em quatro profundidades do solo. Cachoeira do Sul, RS. 2007.

Prof. (cm)	CN	FED	PE20	PE24	PE27A	PE27B
0-10	5,81 a AB	5,93 a A	5,08 a C	5,34 a BC	5,04 a C	5,13 a C
10-20	5,40 ab AB	5,68 a A	5,11 a B	5,31 a AB	5,04 a B	5,13 a B
20-40	5,11 b B	5,72 a A	5,03 a B	5,22 a B	4,90 a B	5,11 a B
40-60	5,24 b AB	5,65 a A	4,96 a B	5,20 a B	4,95 a B	5,05 a B
Média	5,39 AB	5,74 A	5,04 BC	5,27 BC	4,98 C	5,10 BC

* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

CN: campo nativo queimado/pastejado anualmente no passado e sem queima nos últimos 15 anos, sendo então roçado 2x/ano e pastejado; FED: Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração; PE20: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 20 anos de idade, em área original de campo nativo; PE24: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 24 anos de idade, em área original de campo nativo; PE27A e PE27B: áreas de *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 27 anos de idade, em área original de campo nativo.

Porém, quando comparados os valores de pH entre os diferentes tratamentos, na mesma profundidade, percebem-se valores menores nas áreas sob plantio, fato que não ocorreu somente na segunda camada de solo da área de *P. elliottii* com 24 anos. Essa tendência geral permanece, inclusive, na média dos valores de pH, onde os maiores valores de pH ocorrem no solo da floresta nativa, seguido do campo nativo e das áreas de Pinus.

De acordo com a SBCS (2004), os valores de pH encontrados na camada superficial do solo dos tratamentos testemunhas (FED e CN) são considerados médios (5,5 – 6,0) e nas áreas plantadas de Pinus são baixos (5,1 – 5,4). Na média geral, assim como nas áreas de plantio de Pinus, o pH do solo no CN também é baixo, o que não ocorre somente com o solo da FED.

4.2.4 Carbono orgânico: concentração, fracionamento e estoque

Na Figura 10, são apresentadas as curvas de variação nos teores de carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM) e carbono orgânico na fração total (COT) nas camadas de solo amostradas. A concentração de COP na camada superficial do solo foi maior na floresta nativa. Os tratamentos com plantios de *Pinus elliottii* apresentaram teores de COP muito semelhantes entre si e superiores ao teor no campo nativo.

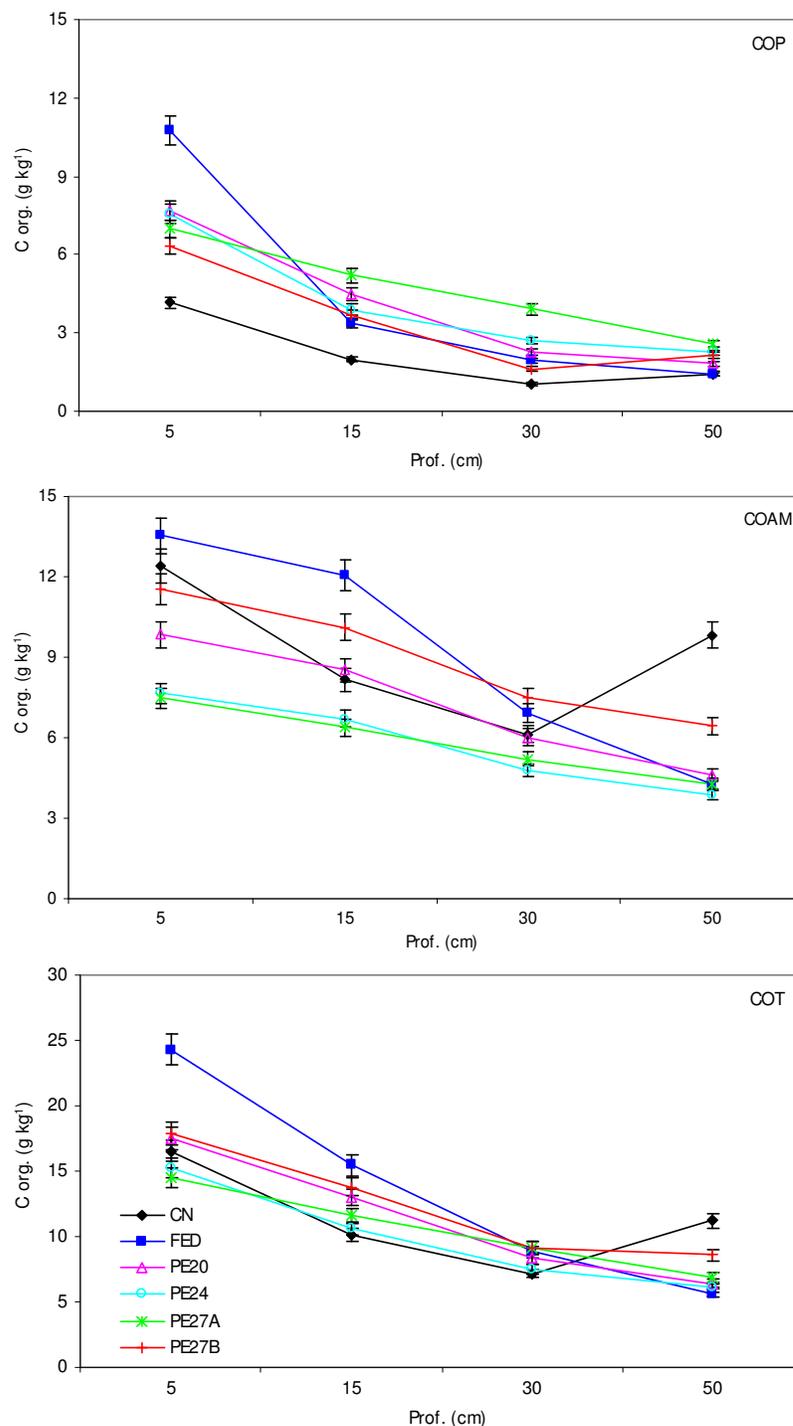
O maior teor de COP no solo da floresta nativa está associado ao maior tempo de adição desse carbono no solo, sem a interferência de ações antrópicas severas, como as queimadas anuais que ocorriam no campo antes dos atuais 15 anos de roçada, sem queima e sem a ocorrência de preparo do solo e operações de manejo, como nas áreas com *Pinus elliottii*. Na floresta nativa estudada, ocorreu apenas o corte, no passado, de indivíduos com potencial madeireiro, o que não comprometeu severamente o teor de carbono no solo, pela manutenção da floresta em um estágio avançado de regeneração.

A partir da segunda camada de solo, o que também se repetiu para a terceira, os teores de carbono apresentaram-se mais equilibrados, porém, a não ser para a floresta nativa onde o teor caiu a valor inferior às áreas com *Pinus elliottii*, o campo nativo continuou apresentando o menor teor de COP no solo, entre todos os tratamentos testados.

Na última camada de solo, os teores de COP foram muito semelhantes entre si, com as áreas com *Pinus elliottii* apresentando valores minimamente superiores à floresta nativa e ao campo nativo.

Em termos gerais, a concentração de COP no solo foi intermediária, na primeira camada, para as áreas com *Pinus elliottii*, e levemente superior nas camadas posteriores. Em relação ao campo nativo, que é a situação original de todos os tratamentos cultivados com plantios de *Pinus elliottii*, percebeu-se um incremento no teor de COP nessas últimas áreas, que foi maior nas primeiras camadas de solo, fato esperado, uma vez que o maior retorno de carbono ao solo ocorre em função da deposição de serapilheira e resíduos de desramas e desbastes, que se decompõem na superfície e o carbono liberado é incrementado ao solo a partir da superfície do mesmo.

Essa fração de carbono, por ter origem, principalmente, no retorno de resíduos da vegetação, pode ser, em grande parte, atribuída ao uso do solo nessas áreas, fazendo com que, com o passar dos anos, seja incrementado o carbono em relação ao campo natural. Isso demonstra que o cultivo de *Pinus elliottii* incrementa o carbono armazenado nas áreas de campo, mesmo sendo em um campo que não sofre processo de queima há 15 anos.



CN: campo nativo queimado/pastejado anualmente no passado e sem queima nos últimos 15 anos, sendo então roçado 2x/ano e pastejado; FED: Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração; PE20: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 20 anos de idade, em área original de campo nativo; PE24: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 24 anos de idade, em área original de campo nativo; PE27A e PE27B: áreas de *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 27 anos de idade, em área original de campo nativo.

FIGURA 10 - Distribuição dos teores de carbono orgânico particulado (COP), associado aos minerais (COAM) e total (COT), nas diferentes profundidades do solo, nos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.

O COAM, na camada superficial de solo, foi maior na floresta nativa e no campo nativo. Nas áreas com *Pinus elliottii*, o maior teor ocorreu para PE27B seguido do PE20 e com teores muito próximos entre si, as áreas PE24 e PE27A. Como as áreas plantadas com *Pinus elliottii* são todas de primeira rotação, tendo sido plantadas em campo natural onde o solo foi preparado, os menores teores de COAM na camada superficial podem ser explicados pelo consumo de matéria orgânica que acontece quando é mudado o uso do solo de uma área, em função, principalmente, das perdas de carbono pela decomposição (MIELNICZUK, 1999). Nessa fase inicial de uso do solo com cultivo florestal, o consumo de matéria orgânica (nutrientes da fase mineral da mesma) foi maior do que o retorno de matéria orgânica via deposição de resíduos, o que poderá ser revertido nas próximas rotações, caso se mantenha um manejo adequado do solo.

Dentro do processo dinâmico da matéria orgânica do solo, as entradas de carbono no sistema, que atualmente estão na fração particulada, poderão repor o consumo ocorrido na fração mineral, com o decorrer do tempo de uso do solo com plantio de *Pinus elliottii*, desde que realizado sob manejo adequado, com máxima incorporação de resíduos e reposição nutricional do solo.

Esse consumo de carbono na fração associada aos minerais já não se evidencia na segunda camada de solo, uma vez que o teor da FED e CN diminuiu esse último passando a ser o quarto maior teor, sendo maior apenas em relação às áreas com *Pinus elliottii* de 24 e 27 anos A.

Na terceira camada de solo, os teores apresentaram-se mais próximos entre si, onde a floresta nativa e o campo nativo mostraram-se com valores intermediários em relação às áreas com *Pinus*. Nessa camada, a área PE27B apresentou o maior teor, seguida pelas áreas testemunhas (Campo e Floresta nativa) e pelos demais tratamentos com plantios de *Pinus*.

Na última camada de solo estudada, o teor de COAM voltou a crescer na área de campo nativo, sendo o único tratamento que apresentou crescimento no teor de carbono nessa camada, uma vez que os demais apresentaram uma diminuição linear, da primeira para a última camada de solo. Esse aumento pode ser decorrente de um aumento do teor de argila nessa camada de solo. O teor de COAM, no solo da floresta nativa, apresentou-se intermediário aos tratamentos com *Pinus*. Quanto a esses últimos, o teor na área PE27B foi o maior.

O COAM mostrou-se mais importante em termos de concentração, na floresta nativa, no campo nativo e nas áreas PE27B e PE20. Essa fração de carbono, por estar mais protegida, pode permanecer no solo por até 1000 anos (Mielniczuk, 1999). Dessa forma, os seus teores nos solos estudados relacionam-se mais com a condição original da área, comparativamente ao COP, mas nem por isso estão de fora da dinâmica da matéria orgânica do solo, uma vez que o COP, no processo de mineralização, pode passar para COAM.

Quanto ao COT, mereceu destaque o alto teor, na primeira camada de solo, na floresta nativa, valor influenciado pelo alto teor de COP e, em menor parte, também de COAM. Na primeira camada de solo, o teor de COT no campo nativo posicionou-se de forma intermediária aos tratamentos com *Pinus elliottii*.

A partir da segunda camada de solo, os teores de COT apresentaram-se mais uniformes entre os diferentes tratamentos. Mesmo assim, diferenças ainda puderam ser percebidas, com a FED apresentando o maior teor, o CN o menor e os tratamentos com Pinus com teores intermediários. Na terceira camada de solo, os teores de COT mostraram-se muito próximos entre si, sendo difícil apresentarem diferenças que sejam significativas.

Somente na última camada de solo, influenciado pelo maior teor de COAM, o teor de COT foi maior para o CN e menor na FED. Os tratamentos com *Pinus elliottii* mostraram novamente teores intermediários e próximos entre si.

Numa análise geral da Figura 10, pode-se perceber nitidamente que os teores de COP indicam melhor a influência do manejo e uso do solo adotado, na matéria orgânica do solo, uma vez que é uma fração muito afetada pelas mudanças do meio, com um curto tempo de permanência (cerca de 2 a 5 anos) (MIELNICZUK, 1999). Dessa forma, esta fração constitui-se num indicador mais rápido e preciso da qualidade do solo sob florestamentos em relação ao COT, principalmente quando se leva em consideração o pequeno número de rotações já realizadas nas áreas florestadas no Rio Grande do Sul, em nível geral.

Em função desses aspectos, a quantidade de carbono armazenado no solo também é um fator importante, pois identifica as áreas com maior seqüestro de CO₂, em função da vegetação existente e do manejo dado à mesma e ao solo. Dessa forma, a Tabela 13 apresenta os estoques de carbono no solo, nas frações particulada, associada aos minerais e total.

TABELA 13 - Estoques (Mg ha⁻¹) de carbono orgânico particulado, associado aos minerais e no solo total dos diferentes tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS, 2007.

Prof. (cm)	CN	FED	PE20	PE24	PE27A	PE27B
Carbono orgânico particulado – COP (> 0,063 mm) (Mg ha ⁻¹)						
0 – 10	3,98	8,03	5,30	5,29	4,98	4,84
10 – 20	2,16	3,02	3,13	3,09	4,47	3,08
20 – 40	2,25	3,70	3,55	3,84	5,83	2,85
40 – 60	2,69	3,23	2,27	3,25	3,73	3,45
	11,08	17,98	14,25	15,47	19,02	14,21
Total	B	AB	AB	AB	A	AB
Carbono orgânico associado aos minerais – COAM (< 0,063 mm) (Mg ha ⁻¹)						
0 – 10	5,15	6,96	6,92	4,98	5,51	7,44
10 – 20	3,90	6,73	5,91	5,17	5,17	7,10
20 – 40	6,86	8,11	10,11	7,73	8,63	10,81
40 – 60	12,53	4,87	7,55	5,87	6,80	10,19
	28,43	26,67	30,48	23,75	26,12	35,54
Total	A	A	A	A	A	A
Carbono orgânico total – COT (Mg ha ⁻¹)						
0 – 10	22,81	30,23	24,18	20,56	20,74	24,88
10 – 20	15,85	22,40	17,80	16,39	18,23	20,81
20 – 40	23,30	27,13	27,80	22,80	27,72	28,98
40 – 60	33,73	19,24	18,66	17,52	20,41	27,51
	95,69	99,00	88,44	77,28	87,10	102,19
Total	A*	A	A	A	A	A

* Médias seguidas pela mesma letra, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade de erro.

CN: campo nativo queimado/pastejado anualmente no passado e sem queima nos últimos 15 anos, sendo então roçado 2x/ano e pastejado; FED: Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração; PE20: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 20 anos de idade, em área original de campo nativo; PE24: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 24 anos de idade, em área original de campo nativo; PE27A e PE27B: áreas de *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 27 anos de idade, em área original de campo nativo.

Em relação aos estoques de COT, apesar de não terem ocorrido diferenças estatisticamente significativas, os mesmos foram maiores na floresta PE27B, seguidos dos de FED, CN, PE20, PE27A e PE24. O acúmulo de COP foi estatisticamente diferenciado, sendo maior na PE27A e menor na no CN. Os estoques na FED e demais áreas cultivadas com Pinus (PE24 > PE20 > PE27B)

foram estatisticamente iguais ao PE27A. O estoque de COAM também não apresentou diferenças estatísticas significativas, com quantidades próximas entre os tratamentos, com o maior acúmulo, em números absolutos, tendo sido verificado no PE27B, seguido do PE20, CN, FED, PE27A e PE24.

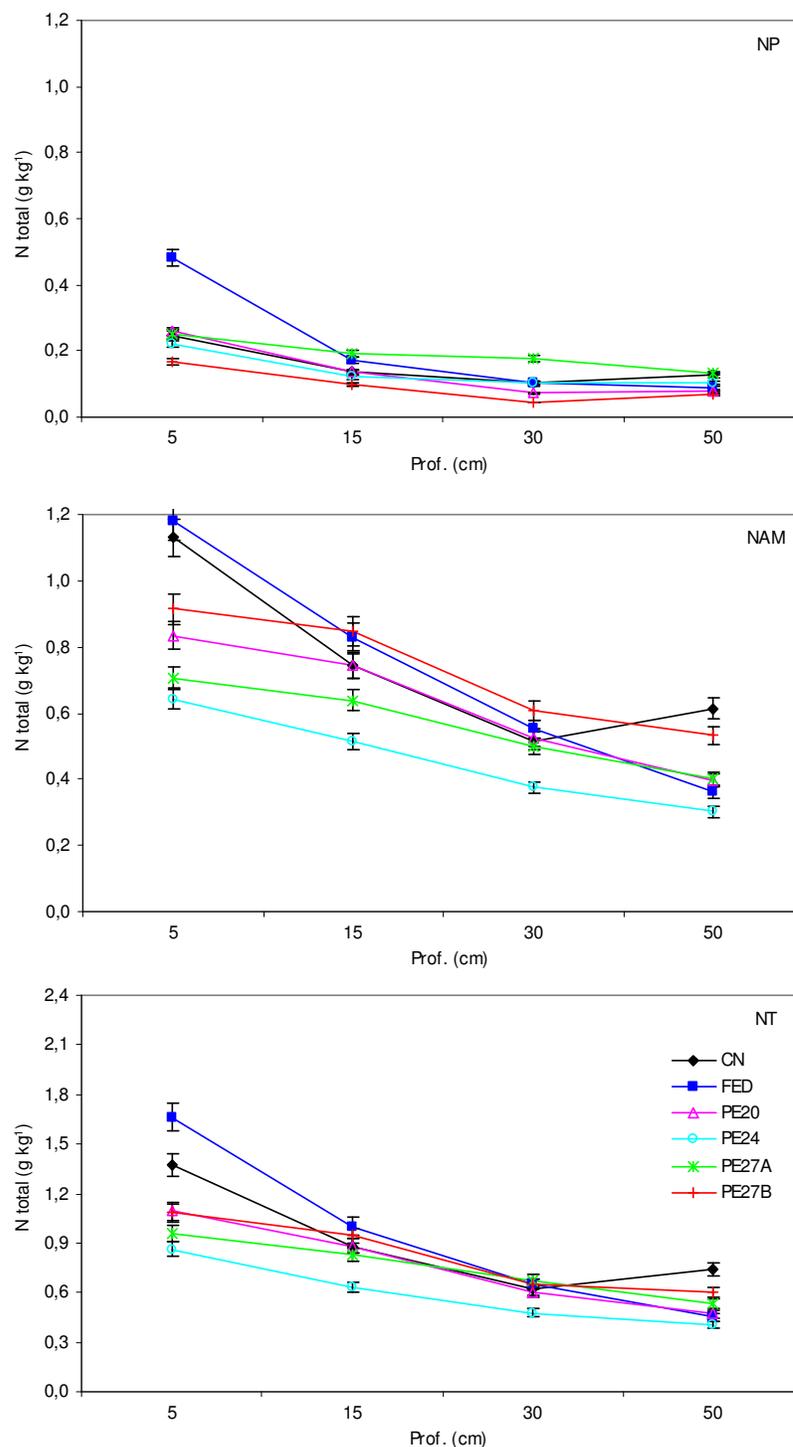
Em relação à variação da quantidade de carbono orgânico armazenada com a profundidade do solo, o COP foi o que apresentou as quantidades mais expressivas na primeira camada de solo (origem), decrescendo significativamente em profundidade. Quanto ao COAM, em alguns casos, essa variação não pôde ser verificada, uma vez que ocorreram aumentos da quantidade armazenada em profundidade, como no CN, o que também influenciou na quantidade armazenada de carbono orgânico total.

A capacidade de armazenamento de carbono no solo é grande, os valores da Tabela 13 demonstram isso claramente. A implantação de florestas em áreas antes ocupadas por pastagens gera maior potencial de seqüestro do carbono atmosférico na biomassa (OLIVER et al., 2004), o que se refletirá no solo, a partir da deposição de serapilheira, morte de raízes e resíduos de colheita florestal (SCHUMACHER; WITSCHORECK, 2004). Essa situação se evidencia quando se observa a fração particulada, o que destaca as florestas no acúmulo de carbono.

4.2.5 Nitrogênio total: concentração, fracionamento e estoque

A Figura 11 apresenta a variação nos teores de N particulado (NP), associado aos minerais (NAM) e total (NT), no solo dos diferentes tratamentos estudados. Para a fração particulada, a camada superficial do solo tem a FED apresentando teores mais elevados de N, seguida pelo teor do solo no CN e nas áreas cultivadas com *Pinus elliottii*, com valores muito próximos entre si.

Os maiores teores de N na fração particulada do solo da FED podem ser explicados com base na diversidade do material de origem dessa fração, predominantemente a serapilheira formada por uma significativa variedade de espécies, inclusive da Família Fabaceae (Leguminosae), com material rico em N.



CN: campo nativo queimado/pastejado anualmente no passado e sem queima nos últimos 15 anos, sendo então roçado 2x/ano e pastejado; FED: Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração; PE20: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 20 anos de idade, em área original de campo nativo; PE24: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 24 anos de idade, em área original de campo nativo; PE27A e PE27B: áreas de *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 27 anos de idade, em área original de campo nativo.

FIGURA 11 - Distribuição dos teores de nitrogênio total na matéria orgânica particulada (NP), na associada aos minerais (NAM) e total (NT), nas diferentes profundidades do solo dos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.

Na segunda camada de solo, podem ser percebidos dois grupos de tratamentos em relação ao teor de N na fração particulada, um formado pela FED e PE27A e o outro pelos demais tratamentos com Pinus e o CN. Na terceira camada de solo, a área PE27A apresentou o maior teor de N, seguida pelo CN, FED e pelas demais três áreas com Pinus. Na última camada de solo estudada, o CN, junto com PE27A, apresentaram maior teor, seguidos da FED e das demais três áreas de Pinus.

A área PE27A apresentou teores de NP comparáveis à FED testemunha, a partir da segunda camada de solo. Por outro lado, a PE27B, apesar de ser também uma das áreas com maior tempo de uso do solo com cultivo de Pinus, apresentou os mais baixos teores de N nessa fração. Isso mostra que, apesar do tempo de cultivo com *Pinus elliottii*, as mudanças nos teores de N no solo dependem também de outros fatores, tal como a qualidade do sítio.

Em relação aos teores de N total na fração NAM, as áreas testemunhas (FED e CN) apresentaram os maiores teores na camada superficial, sendo superadas pela área PE27B na segunda e terceira camadas. Na última camada de solo, o teor do campo nativo foi superior, assim como ocorreu com o carbono. Nas camadas intermediárias de solo, o teor no CN foi intermediário aos teores no solo das áreas com Pinus. Entre as áreas com florestas plantadas, PE24 e PE27A apresentaram os menores teores de NAM.

As áreas com Pinus apresentaram um comportamento mais homogêneo com relação aos teores de N total na fração NAM, com os teores de todas as áreas decrescendo da camada superficial para a última.

Os teores de N total na fração total do solo, sob a influência das duas frações (NP e NAM) mostrou predomínio do solo da FED e CN na primeira camada, com teores acima dos encontrados nas áreas com Pinus, as quais apresentaram teores menores e com valores próximos entre si. Na segunda camada de solo, o decréscimo nos teores fez com que o solo do CN e da FED se apresentassem muito próximos ao das áreas com *Pinus elliottii*.

Na terceira camada de solo, os teores apresentam-se todos muito próximos entre si, formando um grupo uniforme, fato que se repetiu na quarta camada, apenas com o teor no solo do CN crescendo levemente, posicionando-se acima do teor nas demais áreas, influenciado pelo maior teor na fração associada aos minerais.

Os teores de N na fração total apresentaram comportamento semelhante ao ocorrido na fração particulada, mostrando a influência dessa fração no comportamento do solo. Os teores de N, em geral, podem ser considerados baixos, fato que é característico do tipo de solo do local, com baixos teores de matéria orgânica e, conseqüentemente de N.

Os incrementos de matéria orgânica no solo que vêm ocorrendo com o plantio de florestas de Pinus ainda não são suficientes para destacar o solo dessas áreas no acúmulo de N, tanto por ser ainda a primeira rotação, como em decorrência dos pequenos teores originais.

Cabe ainda destacar o fato já discutido em relação aos teores de COAM, quanto à possibilidade de ter ocorrido, na implantação da primeira rotação, um consumo da matéria orgânica (COP) o que seria um fato normal, por terem ocorrido operações de preparo de solo e plantio, liberando carbono pela aceleração da decomposição da matéria orgânica e a absorção de nutrientes como o N no crescimento inicial das árvores.

Esses aspectos se refletiram na quantidade acumulada de N nas frações de solo (Tabela 14). Para o N na fração total do solo, os maiores acúmulos ocorreram no CN, seguido da FED e das áreas de Pinus (PE27B, PE27A, PE20) e, com o menor acúmulo, o PE24.

Comportamento muito semelhante foi verificado na quantidade de N acumulado na fração particulada, porém, nessa fração, a FED foi seguida do CN quanto aos maiores acúmulos de N, diferenciando-se em relação às áreas com Pinus, onde a seqüência de maior acúmulo foi PE27A > PE24 > PE20 > PE27B.

Na fração NAM, influenciado pelos teores relativamente diferenciados nas camadas inferiores de solo, os maiores acúmulos de N ocorreram nas áreas com Pinus, menos para a área com 24 anos de idade, área esta reconhecida como de sítio com qualidade inferior. A seqüência decrescente de acúmulo de N ficou: PE27B > PE20 > PE27A > FED > CN > PE24.

A capacidade do solo em acumular N, em função do uso e manejo do mesmo, é variável, sendo própria somente para o momento da avaliação. De acordo com Tomé Jr. (1997), o elemento apresenta uma dinâmica muito rápida entre as suas diferentes formas (mineral, orgânica, etc.), sendo influenciado por condições ambientais como temperatura, umidade, aeração, ciclos de umedecimento e

secagem do solo, tipo de material orgânico, microorganismos, pH, fertilidade do solo, entre outros.

Sendo assim, a não ser para a área PE24, com menores acúmulos, principalmente em função dos menores teores, e a área PE20, as demais áreas com *Pinus elliottii* e as testemunhas podem ser ditas semelhantes na capacidade de armazenar N total.

TABELA 14 - Estoques (Mg ha⁻¹) de nitrogênio total na fração particulada, associada aos minerais e no solo total dos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.

Prof. (cm)	CN	FED	PE20	PE24	PE27A	PE27B
Nitrogênio na fração particulada – NP (> 0,063 mm) (Mg ha ⁻¹)						
0 – 10	0,24	0,36	0,18	0,15	0,18	0,13
10 – 20	0,15	0,15	0,10	0,10	0,16	0,08
20 – 40	0,22	0,19	0,12	0,15	0,26	0,08
40 – 60	0,25	0,20	0,10	0,15	0,20	0,11
Total	0,86 A	0,90 A	0,49 C	0,56 BC	0,81 AB	0,40 C
Nitrogênio associado aos minerais – NAM (< 0,063 mm) (Mg ha ⁻¹)						
0 – 10	0,47	0,63	0,59	0,43	0,53	0,60
10 – 20	0,35	0,47	0,53	0,40	0,52	0,60
20 – 40	0,57	0,64	0,89	0,62	0,83	0,87
40 – 60	0,69	0,41	0,65	0,46	0,64	0,85
Total	2,09 A	2,15 A	2,66 A	1,92 A	2,52 A	2,91 A
Nitrogênio total – NT (Mg ha ⁻¹)						
0 – 10	1,90	2,08	1,50	1,16	1,37	1,50
10 – 20	1,38	1,45	1,23	0,98	1,30	1,42
20 – 40	2,00	2,00	2,00	1,45	2,03	2,06
40 – 60	2,21	1,52	1,37	1,15	1,60	1,93
Total	7,48 A*	7,06 A	6,10 AB	4,75 B	6,29 A	6,92 A

* Médias seguidas pela mesma letra, na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade de erro.

CN: campo nativo queimado/pastejado anualmente no passado e sem queima nos últimos 15 anos, sendo então roçado 2x/ano e pastejado; FED: Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração; PE20: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 20 anos de idade, em área original de campo nativo; PE24: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 24 anos de idade, em área original de campo nativo; PE27A e PE27B: áreas de *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 27 anos de idade, em área original de campo nativo.

4.2.6 Relação C/N no solo

A relação C/N é apresentada na Tabela 15. Na fração total, os valores médios ficaram em torno de 15, dentro do esperado para tal. A fração associada aos minerais foi responsável pelos valores mais baixos, que ficaram ao redor de 10.

TABELA 15 - Relação C/N na fração particulada, associada aos minerais e no solo total dos tratamentos estudados. Cachoeira do Sul, RS. 2007.

Prof. (cm)	CN	FED	PE20	PE24	PE27A	PE27B
Fração particulada (> 0,063 mm)						
0 – 10	17,1 d	20,4 d	30,0 bc	35,2 ab	27,5 c	37,3 a
10 – 20	15,3 d	19,4 cd	34,4 ab	31,6 ab	26,6 bc	36,6 a
20 – 40	12,4 c	18,8 ab	36,0 ab	26,0 bc	23,7 bc	53,4 a
40 – 60	12,2 b	16,8 ab	38,8 ab	22,8 ab	27,7 ab	41,6 a
Média	27,9	27,2	22,3	19,4	27,9	27,2
Fração associada aos minerais (< 0,063 mm)						
0 – 10	11,0 a	12,0 a	11,7 a	11,9 a	10,6 a	12,8 a
10 – 20	10,9 bc	16,2 a	10,9 bc	15,0 ab	10,0 c	12,1 abc
20 – 40	11,8 ab	12,7 ab	11,7 ab	14,5 a	10,0 b	12,6 ab
40 – 60	13,1 a	12,1 a	12,0 a	14,4 a	10,7 a	12,3 a
Média	10,6	10,0	10,4	10,7	10,6	10,0
Fração total						
0 – 10	12,0 b*	14,6 ab	16,2 a	18,6 a	15,5 ab	16,8 a
10 – 20	11,5 b	16,5 a	15,0 ab	17,7 a	13,8 ab	14,7 ab
20 – 40	11,5 b	13,5 ab	13,9 ab	16,5 a	13,2 b	14, ab
40 – 60	12,8 a	12,8 a	13,7 a	16,1 a	12,6 a	14,1 a
Média	15,1	14,0	13,5	12,9	15,1	14,0

* Compara as médias, na horizontal, através do teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. CN: campo nativo queimado/pastejado anualmente no passado e sem queima nos últimos 15 anos, sendo então roçado 2x/ano e pastejado; FED: Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração; PE20: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 20 anos de idade, em área original de campo nativo; PE24: *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 24 anos de idade, em área original de campo nativo; PE27A e PE27B: áreas de *Pinus elliottii*, em primeira rotação, com 27 anos de idade, em área original de campo nativo.

As mais altas relações C/N ocorreram na fração particulada, com valores médios em torno de 27 para as duas áreas com 27 anos de idade e para as

testemunhas. As áreas com 20 e 24 anos apresentaram valores médios menores, próximos a 22 e 19, respectivamente.

Apesar de já fazer parte da matéria orgânica do solo, tendo origem na decomposição dos resíduos depositados na superfície, a fração particulada apresentou valores ainda relativamente altos para a relação C/N. Ao contrário do que ocorre em sistemas agrícolas, onde os resíduos culturais geralmente apresentam condições para uma decomposição relativamente mais rápida, as condições em áreas florestais com rotações mais longas e também em áreas próximas a uma condição natural (CN), os resíduos apresentam condições de decomposição mais severas, principalmente pela sua constituição (alto teor de lignina e alta relação C/N nas acículas de *Pinus*).

4.3 Comparação entre as duas áreas de estudo

O Quadro 1 apresenta uma comparação entre as principais variáveis estudadas na região dos Campos de Cima da Serra e Depressão Central, para a camada de 0-60 cm. As três frações de matéria orgânica analisadas apresentaram valores (teor e quantidade de COT e NT) amplamente superiores no Cambissolo da região dos Campos de Cima da Serra em relação ao Argissolo da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

Esse predomínio em acumular carbono está ligado principalmente às características do solo, condicionado pelo clima frio (Cfb) regional, sem a ocorrência de período seco, típico de áreas com altitude elevada. Esse clima favorece o acúmulo de matéria orgânica no solo. Na Depressão Central, os teores de carbono, em ambas as frações, são mais baixos, em função de ser um solo mais frágil, com menor teor natural de matéria orgânica e também pelo processo de decomposição ser mais rápido.

Os teores de N total em ambas as frações seguem comportamento semelhante ao teor de carbono orgânico, com teores mais altos no Cambissolo e menores no Argissolo. Esse aspecto também está relacionado aos maiores teores de matéria orgânica acumulada no primeiro solo.

QUADRO 1 – Comparação entre as duas áreas de estudo em relação aos principais aspectos estudados.

Região		Cambissolo (Campos de Cima da Serra)						Argissolo (Depressão Central)					
Tratamento / Variável		CNQA	FOM	P-BQ-CNQ	P-BR-CNQ	P-BE-FNQ	P-BQ-FNQ	CN	FED	PE20	PE24	PE27A	PE27B
Teores (g kg ⁻¹)	COT	59,9	47,3	39,1	49,4	30,8	56,0	11,3	13,6	11,3	9,8	10,5	12,3
	COP	24,8	16,4	9,5	15,1	6,0	18,8	2,1	4,4	4,1	4,1	4,7	3,4
	COAM	31,4	28,8	27,1	33,4	25,0	34,7	9,1	9,2	7,3	5,8	5,8	8,9
	NT	3,2	3,1	2,0	2,4	2,2	3,2	0,9	0,9	0,8	0,6	0,7	0,8
	NP	1,2	1,0	0,4	0,7	0,3	1,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
	NAM	1,8	2,1	1,5	1,8	1,8	2,2	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7
Quant. (Mg ha ⁻¹)	COT	275,5	201,4	203,7	246,1	170,3	284,3	95,7	99,0	88,4	77,3	87,1	102,2
	COP	101,2	65,0	44,3	66,4	31,3	89,2	11,1	18,0	14,3	15,5	19,0	14,2
	COAM	153,0	125,5	146,9	176,4	143,3	181,3	28,4	26,7	30,5	23,8	26,1	35,5
	NT	14,3	12,9	10,5	11,9	12,3	15,8	7,5	7,1	6,1	4,8	6,3	6,9
	NP	4,9	3,8	1,9	3,1	1,4	4,8	0,9	0,9	0,5	0,6	0,8	0,4
	NAM	8,4	8,9	8,0	9,3	10,4	11,0	2,1	2,2	2,7	1,9	2,5	2,9
Relação C/N – total		19,2	15,7	19,3	20,7	13,9	17,9	15,1	14,0	13,5	12,9	15,1	14,0
Rel. C/N – particulada		20,6	17,4	23,2	21,8	23,1	19,0	27,9	27,2	22,3	19,4	27,9	27,2
Rel. C/N – assoc. min.		18,0	14,1	18,2	18,9	13,7	16,3	10,6	10,0	10,4	10,7	10,6	10,0
Serap. ac. (Mg ha ⁻¹)		6,0	5,4	14,4	33,6	8,6	12,2	4,4	5,9	17,6	24,6	23,7	22,8
C na serap. (g kg ⁻¹)		402,3	466,6	475,0	496,6	454,1	476,4	470,9	408,8	482,3	354,6	470,1	468,0
N na serap. (g kg ⁻¹)		9,1	19,8	11,3	10,7	13,0	13,5	10,3	15,9	9,5	10,4	9,8	9,5
Rel. C/N - serapilheira		44,1	23,5	42,2	46,2	34,9	35,4	45,9	25,8	50,9	34,1	47,8	49,4

CNQA: campo nativo queimado/pastejado anualmente; FOM: Floresta Ombrófila Mista; P-BQ-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e campo nativo original queimado; P-BR-CNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª e 2ª rotações retiradas e campo nativo queimado; P-BE-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação enleirada e floresta nativa original queimada; P-BQ-FNQ: Pinus-Biomassa de resíduos da 1ª rotação queimada e floresta nativa original queimada; CN: campo nativo queimado/pastejado anualmente no passado e sem queima nos últimos 15 anos, sendo então roçado 2x/ano e pastejado; FED: Floresta Estacional Decidual em estágio médio de regeneração; PE20: *Pinus elliotii*, em primeira rotação, com 20 anos de idade, em área original de campo nativo; PE24: *Pinus elliotii*, em primeira rotação, com 24 anos de idade, em área original de campo nativo; PE27A e PE27B: áreas de *Pinus elliotii*, em primeira rotação, com 27 anos de idade, em área original de campo nativo

Tais aspectos se refletem na quantidade de carbono e nitrogênio acumulados nesses solos. Em relação ao acúmulo de carbono na fração total, o Cambissolo acumula, no mínimo, cerca de duas vezes mais carbono do que o Argissolo. O acúmulo de carbono orgânico particulado é muito maior no Cambissolo, em média quatro vezes, reflexo do maior potencial de acúmulo de matéria orgânica humificada nesse solo, fato ligado ao clima regional. Esse aspecto também é notado em relação ao carbono orgânico associado aos minerais.

A relação C/N na fração total foi maior no Cambissolo, aspecto relacionado ao maior acúmulo de carbono nesse solo. O Argissolo, apesar de ter teores baixos de nitrogênio, tem também baixos teores de carbono, o que ocasiona relações C/N relativamente menores. A fração particulada, em função dos baixíssimos teores de nitrogênio do Argissolo, apresenta relações C/N maiores em boa parte dos tratamentos.

A serapilheira acumulada apresentou resultados variáveis em função do manejo dos povoamentos. Na área de Cambissolo, o acúmulo de serapilheira variou, nos povoamentos de *Pinus taeda*, em função principalmente do manejo realizado, onde a área com duas rotações colhidas (P-BR-CNQ) foi a que apresentou o maior acúmulo e a área onde os resíduos foram enleirados (P-BE-FNQ) a menor quantidade acumulada. Na área de Argissolo, a quantidade de serapilheira acumulada não seguiu relação direta com a idade dos povoamentos, tendo acúmulos semelhantes em ambas as áreas.

A biomassa acima do solo acumulada no campo nativo da área de Cambissolo foi maior do que na área de Argissolo, mostrando que os altos teores de matéria orgânica desse solo e a adaptação das espécies ao ambiente determina uma grande capacidade de recuperação da biomassa perdida em função do pastejo permanente e da queima anual, o que não ocorre na mesma magnitude nos campos da área de Argissolo, em função da menor capacidade do solo em suportar impactos, como as queimas realizadas até 15 anos atrás.

Apesar dos solos das áreas sobre Argissolos terem teores relativamente menores de carbono, os teores na serapilheira são relativamente próximos, principalmente nas áreas com povoamentos de *Pinus*. O teor médio na serapilheira dos povoamentos de *Pinus taeda* é de 475,5 g kg⁻¹, contra 443,8 g kg⁻¹ nos de *Pinus elliotii*, mostrando uma leve superioridade nos teores de carbono na serapilheira das

áreas sobre Cambissolo. A área testemunha de floresta nativa manteve essa tendência, com maior teor de carbono na serapilheira da área sobre Cambissolo.

Apenas no campo nativo pôde ser verificado comportamento inverso, com teor de carbono na serapilheira sendo superior na área de Argissolo. Tal aspecto pode ser um reflexo do manejo realizado na área de Argissolo, onde o campo não sofre queima há 15 anos e a uma percentagem de diferentes espécies (em relação ao campo nativo da área de Cambissolo) que formam o campo nativo, as quais podem ter maior capacidade de fixação de carbono na sua biomassa.

Os teores de N na serapilheira mantiveram comportamento semelhante nas duas regiões, mostrando maiores teores nas áreas de floresta nativa e nas áreas de *Pinus taeda* com origem em floresta nativa. Afora isso, as áreas de campo nativo e de Pinus (ambas as espécies) sobre áreas originais de campo apresentaram teores muito semelhantes.

A relação C/N na serapilheira foi semelhante entre as duas regiões de estudo, para as áreas de mesma origem, ou seja, as duas áreas de floresta nativa apresentaram valores semelhantes, assim como as duas áreas de campo nativo. Para os povoamentos de Pinus, a relação C/N média foi maior na área sobre Argissolo (45,6) do que na área sobre Cambissolo (39,7), sendo influenciada principalmente pelo maior teor de carbono na serapilheira.

Com base nisso, em relação ao aspecto qualidade do solo, as áreas de Argissolo devem ter um manejo mais criterioso desse recurso, uma vez que apresentam, naturalmente, menores teores de carbono. Mesmo assim, com a realização de práticas adequadas de manejo, os teores de carbono no solo podem ser elevados, independente da modalidade de uso, povoamentos florestais ou campo natural manejado.

No Cambissolo, apesar do mesmo, com altos teores de carbono, ter maior capacidade em suportar eventos adversos (queima, superpastejo, retirada e queima de resíduos), não é possível ainda prever com precisão por quanto tempo isso ocorrerá sem que ocorra uma degradação mais acentuada do solo. Dessa forma, é preferível que as práticas de manejo sejam repensadas visando ao incremento do carbono no solo, o qual, nas áreas avaliadas, ainda não apresenta sério decréscimo, porém, a diminuição das emissões para a atmosfera também é outro aspecto que deve ser pensado. Esse aspecto, apesar de não ter sido estudado neste trabalho, deve ser levado em conta no manejo das áreas cultivadas e naturais da região.

5 CONCLUSÕES

Para a região dos Campos de Cima da Serra, com base no estudo realizado, podem ser feitas as seguintes conclusões:

- A quantidade de resíduos sobre o solo apresenta maior acúmulo nas áreas com *Pinus taeda* onde a biomassa de resíduos foi retirada, com 33,6 Mg ha⁻¹, seguida da área onde a biomassa foi queimada, ambas em área original de campo nativo, e pela área onde a biomassa foi queimada e pela área onde foi enleirada, em área original de floresta nativa, essa com 8,6 Mg ha⁻¹, sendo influenciada diretamente pelo manejo da floresta;

- A serapilheira acumulada na floresta nativa testemunha foi de 5,4 Mg ha⁻¹, sendo considerada pequena, frente a outros estudos no mesmo tipo de floresta, relacionada principalmente a atual ausência de indivíduos de araucária na composição;

- A biomassa acima do solo no campo nativo, de 6,0 Mg ha⁻¹ é considerada média, levando-se em conta que o mesmo sofre queima com periodicidade anual;

- Os teores de carbono orgânico na serapilheira foram maiores nas áreas com *Pinus taeda* e com floresta nativa, sendo inferiores no campo, mostrando que os resíduos florestais têm maior capacidade de devolver carbono ao solo;

- O nitrogênio esteve mais concentrado na serapilheira da floresta nativa e na serapilheira dos plantios de *Pinus taeda* em área original de floresta nativa, independente do tratamento dado à biomassa, mostrando que as características originais das áreas influenciam no comportamento da floresta plantada;

- A relação C/N é reflexo dos teores de N, sendo menor na floresta nativa e nos plantios de *Pinus taeda* em área original de floresta nativa. No tratamento onde a biomassa foi retirada, em área original de campo nativo, e no campo nativo propriamente, apresentam-se as maiores relações C/N;

- O solo do campo nativo apresenta teores maiores de COP. Entre as áreas com *Pinus taeda*, os teores são maiores em área com origem em floresta nativa queimada e biomassa queimada, e menor na área com floresta nativa queimada e biomassa enleirada;

- Os teores de COAM posicionam as testemunhas como intermediárias às áreas com *Pinus taeda*. Nessas, o comportamento dos teores foi semelhante ao ocorrido com o COP;

- O COT tem maiores teores no campo nativo queimado anualmente e na área com Pinus, onde a biomassa foi queimada em área original de floresta nativa, e menor teor na área de Pinus, onde a biomassa foi enleirada, e área original de floresta nativa. Isso demonstra que os danos provocados pela queima e/ou retirada da biomassa são contrabalançados pelo significativo aporte de serapilheira pelos povoamentos plantados;

- O acúmulo de COP é maior no solo do campo nativo queimado anualmente, seguido do povoamento de Pinus onde a biomassa foi queimada em área original de floresta nativa, no Pinus onde a biomassa foi retirada em área original de campo nativo, na floresta nativa, no Pinus onde a biomassa foi queimada em área original de campo nativo e, por último, pelo povoamento de Pinus onde a biomassa foi enleirada em área original de floresta nativa.

- Para o COAM, o armazenamento foi maior no solo do povoamento de Pinus onde a biomassa foi queimada, em área original de floresta nativa, seguido do Pinus onde a biomassa foi retirada em área original de campo nativo, do campo nativo, do Pinus onde a biomassa foi queimada em área original de campo nativo, do Pinus onde a biomassa foi enleirada em área original de floresta nativa e da floresta nativa.

- Na fração total, o armazenamento de carbono orgânico foi maior no povoamento de Pinus onde a biomassa foi queimada em área original de floresta nativa, do campo nativo, do Pinus onde a biomassa foi retirada em área original de campo nativo, do Pinus onde a biomassa foi queimada em área original de campo nativo, floresta nativa e do Pinus onde a biomassa foi enleirada em área original de floresta nativa;

- Os teores de nitrogênio total apresentaram comportamento muito semelhante aos teores de carbono orgânico, para cada fração da matéria orgânica avaliada;

- O NP apresentou maior estoque no solo do campo nativo, seguido do povoamento de Pinus onde a biomassa foi queimada em área original de floresta nativa, da floresta nativa, do Pinus onde a biomassa foi retirada em área original de campo nativo, do Pinus onde a biomassa foi queimada em área original de campo nativo e do Pinus onde a biomassa foi enleirada em área original de floresta nativa;

- Para o NAM, o armazenamento foi maior no Pinus onde a biomassa foi queimada, do Pinus onde a biomassa foi enleirada, ambos em área original de floresta nativa, do Pinus onde biomassa foi retirada em área original de campo nativo, da floresta nativa, do campo nativo e por último pelo Pinus onde a biomassa foi queimada em área original de campo nativo;

- Na fração total, o armazenamento de nitrogênio total foi maior no solo do Pinus onde a biomassa foi queimada em área original de floresta nativa, no campo nativo, na floresta nativa, no Pinus onde a biomassa foi enleirada em área original de floresta nativa, no Pinus onde a biomassa foi retirada e no Pinus onde a biomassa foi queimada, as duas últimas em área original de campo nativo;

- A relação C/N foi maior na fração particulada, em função da mesma ser uma matéria orgânica mais jovem, seguida da fração total e com menores valores, na fração associada aos minerais.

Para a região da Depressão Central, com base no estudo realizado, podem ser listadas as seguintes conclusões:

- A quantidade de resíduos acumulados sobre o solo, nas diferentes idades dos povoamentos de *Pinus elliotii*, apresenta-se na seguinte ordem de magnitude: 24 anos ($24,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) > 27A > 27B > 20 ($17,6 \text{ Mg ha}^{-1}$), não sendo proporcional à idade das florestas;

- A serapilheira acumulada na floresta nativa testemunha é de $5,9 \text{ Mg ha}^{-1}$, valor considerado médio, frente a outros estudos em Floresta Estacional Decidual;

- A biomassa acima do solo no campo nativo, de $4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, é considerada normal para os Campos da Depressão Central do RS, em área que não sofre queima há 15 anos e é roçada duas vezes ao ano, sendo menor que na região dos Campos de Cima da Serra;

- A quantidade de resíduos acumulados sobre o solo, nas áreas plantadas com *Pinus elliotii*, não é regida somente pela idade, sendo influenciada também pela qualidade do sítio;

- Os teores de carbono orgânico na serapilheira são maiores nas áreas com *Pinus elliotii* e campo nativo, sendo intermediários na floresta nativa e menores na área de 24 anos;

- O nitrogênio está mais concentrado na serapilheira da floresta nativa, na biomassa do campo nativo e na serapilheira do plantio *Pinus elliotii* com 24 anos;

- A relação C/N indica boas condições de decomposição da serapilheira acumulada na floresta nativa, próximo a 25. Na floresta de *Pinus elliottii* com 24 anos de idade, o valor é próximo a 35. Nas demais áreas de *Pinus elliottii* e no campo nativo, essa relação é maior, entre 45 e 50, indicando necessidade de maior tempo de decomposição da serapilheira;

- Os maiores teores de COP ocorrem no solo da floresta nativa, somente na camada superficial. Após isso, o solo das áreas com *Pinus elliottii*, apresenta os maiores teores, esses sendo muito próximos entre si. O solo do campo nativo apresenta os menores teores de COP;

- Os teores de COAM posicionam as testemunhas como superiores na primeira camada de solo e intermediárias às áreas com *Pinus elliottii*. Nessas, o comportamento dos teores é diferenciado em relação ao COP, com inversão nas prioridades dos mesmos;

- O COT tem maiores teores na floresta nativa e nas áreas com 20 e 27 anos B. O Campo nativo apresenta, na maioria dos casos, o menor teor. Isso mostra que o manejo sem queima da vegetação original no momento do plantio se faz importante, principalmente em solos com teores originais de matéria orgânica menores;

- A magnitude de acúmulo de COP, para as diferentes idades dos povoamentos de *Pinus elliottii* e testemunhas, é igual a: 27 anos A > floresta nativa > 24 > 20 > 27 B > Campo nativo. Para o COAM, a magnitude de armazenamento foi: 27B > 20 > Campo nativo > Floresta nativa > 27A > 24. Na fração total, a magnitude de armazenamento de carbono orgânico foi: 27B > Floresta nativa > Campo nativo > 20 > 27A > 24;

- Os teores de nitrogênio total apresentam comportamento muito semelhante aos teores de carbono orgânico, para cada fração da matéria orgânica avaliada, sendo superiores na primeira camada de solo nas testemunhas e intermediários às áreas com *Pinus elliottii* nas camadas posteriores;

- O NP apresenta seqüência de prioridade de estoque igual a: Floresta nativa > Campo nativo > 27 anos A > 24 > 20 > 27B. Para o NAM, a magnitude de armazenamento foi: 27 anos B > 20 > 27A > Floresta nativa > Campo nativo > 24 anos. Na fração total, a magnitude de armazenamento de nitrogênio total foi: Campo nativo > Floresta nativa > 27B > 27A > 20 > 24 anos;

- A relação C/N é maior na fração particulada, em função da mesma ser uma matéria orgânica mais jovem, seguida da fração total e com os menores valores, na fração associada aos minerais.

Em relação ao potencial comparativo de acúmulo de carbono no solo, entre os dois tipos de solo estudados, o Cambissolo acumula quantidade maior de carbono, apesar de sofrer impactos da queima, retirada ou enleiramento dos resíduos e da vegetação original nas áreas estudadas.

Os teores e quantidades acumuladas de nitrogênio são maiores no Cambissolo, mesmo assim, a relação C/N também é maior nesse solo em relação ao Argissolo, fato relacionado a quantidade de carbono nesse solo, que é cerca de duas vezes maior.

A quantidade de serapilheira acumulada em ambas as regiões varia mais em função do manejo da área do que em relação ao tipo de solo.

Os teores de C na serapilheira são relativamente maiores na área de Cambissolo, menos para o campo nativo, que apresentou comportamento inverso.

O teor de N na serapilheira são maiores nas áreas de floresta nativa e nas áreas cultivadas com origem em floresta nativa, para ambas as regiões. Nas áreas de campos nativos e cultivos de pinus em área originalmente campo nativo, os teores de N na serapilheira são semelhantes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, S. L.; RASMUSSEN, P. E.; SKIRVIN, K. W. Is burning an effective management practice for the Pacific Northwest cereal region? In: ALBRECHT, S. L. (Ed.) **Columbia Basin agricultural research annual report**. Corvallis/Or.: Oregon State University. 1995. p. 105-109 (Special report, 946).

ALLISON, F. E. Soil organic matter and its role in crop production. **Developments in Soil Science**. Amsterdam: Elsevier, v. 3, 637 p. 1973.

ALVAREZ, R.; LAVADO, R. S. Climatic, organic matter and clay content relationship in the Pampa and Chaco soils, Argentina. **Geoderma**, Amsterdam, v. 83, p. 127-141, 1998.

AMADO, T. J. C; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 189-197, 2001.

ANDERSON, J. M. The effects of climate change on decomposition processes in grassland and coniferous forest. **Ecological Applications**, Washington, v.1, n. 3, p. 326-347. 1991.

ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. Rio de Janeiro, 1997. 166 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1997.

ANDRAE, F. **Ecologia Florestal**. Santa Maria: UFSM – DCFL, 1978. 230 p.

ANGERS, D. A.; et al. Impacts of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 41, p. 191-201, 1997.

ARAUJO, M. M.; et al. Padrões de distribuição espacial de espécies florestais em fragmento de Floresta Estacional Decidual, Santa Maria-RS, Brasil. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1., 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM - Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, 2000. p. 345-360.

ARAUJO, M. M.; et al. Análise de agrupamento da vegetação de um fragmento de Floresta Estacional Decidual Aluvial, Cachoeira do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n.1, p. 133-147, 2004.

BACKES, A.; FERNANDES, A. V.; ZENI, D. J. Produção de folheto em uma floresta com *Araucaria angustifolia* no sul do Brasil. **Rev. Pesquisas, Botânica**, São Leopoldo, n. 50, p. 97-117. 2000.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; HERNANDES, J. I. Carbono orgânico em uma floresta de *Pinus taeda* na região de Cambará do Sul-RS. In: FOREST 2000, Porto Seguro. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Biosfera, 2000. p. 56-57.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 398 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.

BHATTI, J. S.; PRESTON, C. M. Carbon dynamics in forest and peatland ecosystems. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 86, n. 2, p. 155-158. 2006 (nsp).

BORTOLI, A.; et al. Curva de crescimento do campo nativo da Região Sul em diferentes disponibilidades hídricas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006. João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006, p. 1-5.

BOLDO, E. L.; et al. Avaliação da produtividade primária e da diversidade florística dos Campos de Cima da Serra em diferentes alternativas de manejo de campo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v.2, n. 1, p. 1103-1106, 2007.

BRADY, N. C. **The Nature and Properties of Soils**. 8. ed. New York: Macmillan Publishing Co., 1974. 639p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: DNPEA, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).

BRUM, E. T. **Relação entre a altura dominante e fatores de sítio em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Ponte Alta do Norte, SC.** Curitiba, 1979. 179 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1979.

BRUN, E. J. **Dinâmica da deposição de serapilheira em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no município de Santa Tereza, RS.** 2002. 61 f. Relatório de Estágio (Graduação em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2002.

CALDEIRA, M. V. W.; et al. Carbono orgânico em solos florestais. In: SANQUETTA, C. R.; et al. (eds). **As florestas e o carbono.** Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 191 – 214.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T., Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society American Journal**, Stanford, v. 56, p. 777-783. 1992.

CAMPBELL, R. E.; et al. **Wildfire effects on a ponderosa pine ecosystem: an Arizona case study.** Washington: USDA Forest Service Research. 1977. 12 p.

CAMPOS, B. C. **Dinâmica do carbono em Latossolo vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas.** 2006. 190 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2006.

CAMPOS, D. V. B.; et al. **Mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo sob a cultura de cana-de-açúcar e pastagem em argissolo de Conceição da Barra – ES.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. (Circular Técnica, 10).

CAPRA, A. **Estimativa da biomassa e carbono no primeiro desbaste em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze, na região de Quedas do Iguaçu-PR.** 2001. 25 f. Relatório de Estágio (Graduação em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2001.

CASTRO, O. M. Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO EM FLORESTAS, 1, 1995, Curitiba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1995. p. 34-42.

CECHIN, N. F. **Compactação de dois Argissolos na colheita florestal de *Pinus taeda* L.** 2007, 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

CERETTA, C. A. **Fracionamento de N orgânico, substâncias húmicas e caracterização de ácidos húmicos de solo em sistemas de cultura sob plantio direto.** 1995. 127 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1995.

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil: structure, function and turnover.** Tjele: DIAS, 2000. 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30).

COLLINS, H. P.; et al. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: **Soil organic matter in temperate agroecosystems - long-term experiments in North America.** Boca Raton: CRC Press, 1997. p.51-72.

CONCEIÇÃO, P. C.; et al. Componentes da matéria orgânica como indicadores de qualidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29. 2003. Ribeirão Preto, SP. **Anais...Viçosa: SBSCS, 2003.** p. 1-4.

CONCEIÇÃO, P. C.; et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 29, p. 777-788, 2005.

CORREIA, M. E. F; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 197 – 226.

COSTA LIMA, V.; et al. Efeito da substituição da vegetação de campo natural por *Pinus* na dinâmica do carbono no solo. **Revista do Setor de Ciências Agrárias.** Curitiba, v. 14, n. 1-2, p. 7-12, 1995.

CUNHA, G. C.; et al. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 35-64, 1993.

DEBANO, L. F. The effects of fire on soil properties. In: HARVEY, A. (Ed). **Proceedings – management and productivity of western – montane forest soils.** Washington: USDA Forest Service, 1991. p. 151-156.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-35.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, 1989, cap. 2, p.33-67.

ELLIOT, W. J. **Soil erosion in forest ecosystems and carbon dynamics**. In: KIMBLE, J. M.; et al. (Eds.). **The potential of US forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect**. Boca Raton-Florida: CRC Press, 2003. p. 175-190.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p. (Documentos, 1).

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E. REICH, P. Organic carbon in soils of the world. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 57, p. 192-194, 1993.

FERNANDES, B. Cobertura vegetal do solo. **Informativo Manah**, n. 170. 2006.

FIGUEIREDO, O.; KRUNVALD, L.; SANTOS, D. R. **Características físicas, químicas e fauna do solo afetadas por diferentes usos**. Lages: UDESC, 1995. 18 p. (Relatório de pesquisa).

FLEIG, F. D.; et al. Modificação no ambiente químico e biológico do solo pela substituição da mata nativa de araucárias por reflorestamento com *Pinus taeda* L. In: SIMPOSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL - O AMBIENTE DA FLORESTA, 1. 1996. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1996. p. 21-28.

FLOSS, P. A.; CALDATO, S. L.; BOHNER, J. A. M. Produção e decomposição de serapilheira na Floresta Ombrófila Mista da Reserva Florestal da Epagri/Embrapa de Caçador, SC. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 12, n. 2, p. 19-22, 1999.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Princípios e critérios para o manejo de florestas**. Bonn: 1996. 7 p. (Circular Técnica, 3).

GOMES NETO, J. **Influência da queima controlada na concentração de elementos químicos do solo em povoamentos de *Pinus* spp. na região de**

Sacramento, MG. 1994. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 1994.

GOUVEIA, S. E. M.; PESSENDA, L. C. R.; ARAVENA, R. Datação da fração húmica da matéria orgânica do solo e sua comparação com idades ^{14}C de carvões fósseis. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 6, p. 810-814, 1999.

GREGORICH, E. G.; et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Lethbridge v. 74, p. 367-385, 1994.

HASSETT, J. J.; BANWART, W. L. **Soils & their environment**. New Jersey: Prentice-Hall, 1992. 427 p.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A. Qualidade da forragem de pastagem nativa sob distintas alternativas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 399- 406, 2002.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul**. São Paulo: Polígono, 1972. 466 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92p.

JUSSOF, K. Soil compactation from off-road transportation machine on Hill Forest Land. **Pertanika Univ. Malásia**, Selangor, v. 11, n.1. 1988.

KERN, J. S.; JOHNSON, M. G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 57, p. 200–210. 1993.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Ceres, 1978. 230 p.

KÖNIG, F. G. **Carbono Orgânico no solo e serapilheira ao longo de uma rotação de *Pinus taeda* L., no município de Camará do Sul, RS**. 2004. 72 f. Relatório de Estágio (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. Santa Maria, 2004.

KÖNIG, F. G.; SCHUMACHER, M. V.; LONGHI, S. J.; BRUN, E. J. Tempo médio para a decomposição da serapilheira produzida em uma Floresta Estacional Decidual em Santa Maria, RS. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 1. 2001. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Imprensa Universitária, 2001. p. 234-246.

KÖNIG, F. G.; et al. Raízes finas (< 2,0 mm) na serapilheira acumulada sobre o solo em um povoamento de *Pinus taeda* L., em Cambará do Sul, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 3. 2004. Manaus. **Anais...** Manaus: Art gráfica, 2004. p. 27-27.

KONONOVA, M. M. **Humus of Virgin and Cultivated Soils**. In: GIESEKING, J.E. (Ed.) **Soil components – Volume 1: Organics components**. Berlin: Springer-Verlag. 1975. p. 475-526.

KONONOVA, M. M.; NOWAKOWSKI, T. Z.; NEWMAN, A. C. D. **Soil organic matter: its nature, its role in soil formation and in soil fertility**. 2 ed. Moscou: Pergamon Press, 1966. 544 p.

KUNST, C. Efectos del fuego sobre el suelo. In: **Introducción a la ecología de fuego y manejo de fuego prescrito**. Santiago del Estero: INTA EEA, 1996. p. 17-28.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 220, p. 242-258, 2005.

LAL, R. Land use and soil management effects on soil organic matter dynamics on alfisols in Western Nigeria. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (Eds.). **Soil processes and the carbon cycle**. London: Advances in soil Science, 1996. p. 109-126.

LEITE, L. F. C.; et al. Estoques totais de carbono e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 27, p. 821-832. 2003.

MATIAS, M. I. A. S.; et al. Frações granulométricas da matéria orgânica em solo coeso dos tabuleiros costeiros sob diferentes coberturas vegetais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25. 2002. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCE/SBM. 2002.

MCGUIRE, A. D.; et al. Environmental variation, vegetation distribution carbon dynamics, and water/energy exchange in high latitudes. **Journal of Vegetation Science**, Washington, v. 13, p. 301-314. 2002.

MELO, A. W. F. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP. Piracicaba. 2003.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MIELNICZUCK, J. **Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas**. In. SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 1-8.

MOOJEN, E. L. **Dinâmica e potencial de uma pastagem natural do Rio Grande do Sul submetida a pressões de pastejo, épocas de diferimento e níveis de adubação**. 1991. 172 f. Tese (Doutorando em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1991.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73 p.

MOTA, F. S.; BEIRSDORF, M. I. C.; GARCEZ, J. R. B. **Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Normais agroclimáticas. Pelotas: Ministério da Agricultura, Instituto de Pesquisa Agropecuária. 1971, v. 1 (Circular, 50).

NASCIMENTO, A. R. T.; et al. Análise da diversidade florística e dos sistemas de dispersão de sementes em um fragmento florestal na região central do Rio Grande do Sul, Brasil. **Napaea**, Porto Alegre, n. 12, p. 49-67, 2000.

NEARY, D. G.; et al. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 122, p. 51-71. 1999.

OLIVER, G. R.; et al. Variation in soil carbon in pine plantation and implications for monitoring soil carbon stocks in relation to land use change and forest site management in New Zealand. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 203, p. 283-295, 2004.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2. Ed. San Diego: Academic Press, 1996. 340 p.

PAUSTIAN, K.; et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. **Soil Use and Management**, Stirling, v. 13, p. 230-244, 1997.

PORTO, M. L. Os Campos Sulinos: Sustentabilidade e Manejo. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n. 24, p. 119-138. 2002

PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento**. Cidade do México: Limusa, 1990. 634 p.

RAISON, R. J. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review. **Plant Soil**, Amsterdam, v. 51, p. 73-108, 1979.

RAMBO, B. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul**. 3 ed. São Leopoldo: Unisinos. 2000. 473 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, n. 27, p. 29-48, 2003.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.135-166.

REISSMANN, C. B. Morfologia dos horizontes de húmus em florestas de coníferas exóticas no Sul do Brasil. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 5, p. 11-16, 1983.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, J. C. P.; FERNANDES, V. B. B.; MAFRA, A. L.; ALMEIDA, J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 49-55, 2003.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Embrapa Solos, 2002. 88 p.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry and analysis of global change**. San Diego: Academic press. 1991. 572 p.

SCHNITZER, M. **Humic substances: chemistry and reactions**. In: SCHNITZER, M.; KHAN, S.U. (Eds.). **Soil organic matter**. New York: Elsevier, 1978. p. 14-17.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M.; ZANCAN, M. V. **Caracterização física e química de um solo em uma área de campo nativo, destinada ao plantio de *Pinus taeda* L.** Santa Maria: Laboratório de Ecologia Florestal/FATEC/UFSM, 1999. 37 p.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; BARBIERI, S. J. Estimativa do carbono orgânico em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze com 27 anos de idade na região de Quedas do Iguazu - PR. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25. 2002. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS/SBM. 2002.

SCHUMACHER, M. V.; KONIG, F. G.; KLEINPAUL, J. J. **Quantificação do carbono orgânico na serapilheira, sub-bosque e solo de uma floresta de *Pinus elliottii* Engelm. aos 36 anos, em Santa Maria, RS**. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Orgs.). **Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba - PR: Imprensa Universitária - UFPR, 2004a, p. 125-132.

SCHUMACHER, M. V.; et al. **Quantificação dos nutrientes armazenados na serapilheira e no solo, ao longo de uma rotação de *Pinus taeda* L., e em uma floresta natural, em Cambará do Sul, RS**. Santa Maria: Laboratório de Ecologia Florestal-DCFL/UFSM. 2004b. 69 p. (Relatório de pesquisa).

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. **Inventário de carbono em povoamentos de *Eucalyptus* spp., nas propriedades fumageiras do Sul do Brasil: um estudo de caso**. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Orgs.). **Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba - PR: Imprensa Universitária - UFPR, 2004, p. 111-124.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; CALIL, F. N. **Caderno didático da Disciplina de Proteção Florestal**. Santa Maria: Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM, 2005 (Caderno Didático).

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Inventário Florestal do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: SEMA-UFSM. 2001. Disponível em: <http://www.ufsm.br/ifcrs>. Acesso em: 10/06/2006.

SINDIMADEIRA – Sindicato das Indústrias de Processamento de madeira do estado do Rio Grande do Sul. **Diagnóstico da Base Florestal do RS**. Disponível em: www.sindimadeirars.com.br. Acesso em 15/02/2006.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.73-99.

SILVA, L. C.; LONGHI, S. J.; FLEIG, F. D. Composição florística e fitossociológica do componente arbóreo do “Ecomuseu da Quarta Colônia” – Silveira Martins. In: CONGRESSO ESTADUAL FLORESTAL, 7., 1992, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata: Prefeitura Municipal de Nova Prata, 1992. p. 357-375. v.1.

SISTI, C. P. J.; et al. Estoque de C e N no solo após 14 anos com plantio direto e preparo convencional, e rotação de culturas com plantas de cobertura. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25. 2002. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBSC/SBM. 2002.

SKJEMSTAD, J. O.; et al. The chemistry and nature of protected carbon in soil. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 34, p. 251–271. 1996.

SKJEMSTAD, J. O.; et al. Charcoal carbon in U.S. agricultural soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 66, p. 1249-1255, 2002.

SOARES, R. V. The use of prescribed fire in forest management in the state of Parana, Brazil. 1977, 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - University of Washington, Seattle, 1977.

SBSC. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Comissão de Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: SBSC/CQFS, 2004. 400 p.

SPAGNOLLO, E. **Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais**. 2004, 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2.ed. New York: J. Wiley, 1994. 496p.

STRECK, E. V.; et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS: Emater/RS; UFRGS, 2002. 107 p.

SUZUKI, L. E. A. S. **Qualidade físico-hídrica de um Argissolo sob floresta e pastagem no Sul do Brasil**. 2008, 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

TISSOT, A. R.; et al. Melhoramento de campo nativo com aplicação de esterco líquido de suínos na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. 1999. Brasília, DF. **Anais...** Brasília: SBCS, 1999.

TOMÉ JR., J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1997. 247 p.

TREVISAN, E.; REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W. Classificação e caracterização de horizontes orgânicos sob povoamento de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa, PR. In: CONGRESSO FLORESTAL PAN-AMERICANO, 1,; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, 1993. Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: SBS, 1993, p. 732.

VALERI, S. V.; REISSMANN, C. B. Composição da manta florestal sob povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Telêmaco Borba, PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 19, n. 1-2, p. 55-61. 1989.

VALERI, S. V. **Exportação de biomassa e nutrientes em povoamento de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades**. 1988. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

WATZLAWICK, L. F.; et al. **Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração**. In: SANQUETTA, C. R.; et al. (Orgs.). **As Florestas e o Carbono**. Curitiba - PR: Imprensa Universitária - UFPR, 2002, p. 153-173.

WHITE, R. E. **Introduction to the principles and practice of Soil Science**. Londres: Blackwell Scientific Publications, 1979. 198 p.